

Saisonalität von organischem Kohlenstoff im Oberflächenwasser des subpolaren Nordatlantiks

Als Masterarbeit
bearbeitet und vorgelegt von

Mirja Kristin Dunker



Betreuer: Dr. T. Steinhoff
1. Gutachter: Prof. Dr. A. Körtzinger
2. Gutachter: PD Dr. H. W. Bange

Kiel, März 2013

Die vorliegende Arbeit wurde
unter Anleitung von Dr. Tobias Steinhoff
im Arbeitskreis von Prof. Dr. Arne Körtzinger
am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für
Ozeanforschung Kiel angefertigt.

Kurzdarstellung

Untersuchungen des organischen Kohlenstoffkreislaufs im Ozean sind von großer Bedeutung, da gelöster (DOC) und partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) in direktem Zusammenhang stehen mit dem gelösten anorganischen Kohlenstoff (DIC), welcher einen Makronährstoff für marine Organismen darstellt und welcher die Effizienz der marinen Kohlenstoff-Pumpe, durch welche atmosphärisches Kohlenstoffdioxid (CO_2) in den tiefen Ozean exportiert wird, kontrolliert. Daher ist es wichtig, dass man die Saisonalität, die verschiedenen Quellen und Senken von DOC und POC und ihre Einflüsse auf die ozeanischen Prozesse versteht. Das Hauptziel der Arbeit in diesem Rahmen ist, die Saisonalität von DOC und POC im Oberflächenwasser des subpolaren Nordatlantiks zu bestimmen. Die Arbeit besteht im Wesentlichen aus drei Teilen:

(1) Methodenoptimierung

Das TOC- V_{CSN} -Gerät der Firma Shimadzu für die Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) wird wieder in Betrieb genommen und die Messprozedur soll optimiert werden. Das System basiert auf der HTOC-Methode nach Sharp [1973], das Kohlenstoff-Detektionslimit liegt bei $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ [Shimadzu, 2001], und ca. 20 TOC-Proben können innerhalb von 24 Stunden mit einer Reproduzierbarkeit von $2,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ und einer Genauigkeit von $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ analysiert werden. Neben dem Umbau der Gaszuleitungen und dem Anschluss einer Stickstoffgasflasche für den Ausgasprozess wurden selbstgepackte, Quarzrohr-halogen-scrubber verwendet (verbesserte visuelle Kontrollmöglichkeit). Eine Vorbehandlungsprozedur des neuen, wirksameren Katalysators wurde entwickelt, welche schneller zu niedrigeren stabilen Blankwerten führt.

(2) Analyse von Proben der M/V Atlantic Companion Fahrten

Die Bestimmung von DOC und POC erfolgt aus Oberflächen-Seewasserproben die an Bord der M/V Atlantic Companion im Nordatlantik zwischen 10°W und 55°W von Oktober 2011 bis Oktober 2012 genommen wurden. Die ermittelten DOC-Konzentrationen liegen im Bereich von 40 bis $111 \mu\text{mol kg}^{-1}$, die Konzentrationen des POC umfassen eine Spanne von $3,4$ bis $45 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Darüber hinaus werden die Temperatur-, Salinitäts- und Nitrat-Daten, sowie Chlorophyll-Satellitenbilder und klimatologische Daten der Tiefe der durchmischten Deckschicht zur Auswertung herangezogen. Die Konzentrationen des DOC werden indirekt durch Differenzbildung ($\text{DOC} = \text{TOC} - \text{POC}$) berechnet. Die POC-Proben werden mit einem CN-Elementaranalysator EuroEA (HEKAtech GmbH, Nachweisgrenze: ca. $1 \mu\text{mol C}$) analysiert.

(3) Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Die Daten werden verwendet, um die kompletten Jahreszyklen von DOC und POC im Oberflächenwasser des westlichen und östlichen Nordatlantiks zu analysieren und um Variabilitäten in den saisonalen Verläufen identifizieren und erklären zu können. Es werden weiterhin regionale Unterschiede in den saisonalen Signalen, sowie in den Absolutwerten innerhalb der Nordatlantischen Drift-Provinz (NADR, North Atlantic Drift) und der Nordwest Atlantischen Kontinentalschelf-Region (NWCS, Northwest Atlantic Continental Shelf) nach Longhurst [1998] aufgrund des Einflusses von Oberflächenströmungen (Labradorstrom, Golfstrom, Eddies) untersucht. Es ist eine Längengradabhängigkeit im Oberflächenozean des Nordatlantiks zu erkennen: je weiter westliche, desto niedriger die saisonalen DOC- und POC-Amplituden, desto niedriger die maximalen Absolutwerte, desto stärker ausgeprägt ist das Phänomen der Nitratabhängigkeit des DOC. Die Abweichung der DIC-Senke von der POC- und DOC-Zunahme, wird dem Export von POC und DOC aus der durchmischten Deckschicht zugeschrieben. Im Westen werden die großen Abweichungen vor allem durch physikalische Prozesse (Advektion und Eddies) getrieben.

Abstract

Studies of organic carbon cycling in the ocean are of great importance, since dissolved (DOC) and particulate organic carbon (POC) are directly related to the dissolved inorganic carbon (DIC), which is a macronutrient for marine organisms and controls the efficiency of the marine carbon pump by which atmospheric carbon dioxide (CO_2) is exported to the deep ocean. It is therefore important to understand the seasonality, the different sources and sinks of DOC and POC and its influences on the oceanic processes. The main goal of this work is to determine the seasonality of DOC and POC in the surface waters of the subpolar North Atlantic. The work consists of three main parts:

(1) Method Optimization

The TOC- V_{CSN} -instrument from Shimadzu, for the determination of total organic carbon (TOC), is put back into operation and the measurement procedure should be optimized. The system is based on the HTCO-method by Sharp [1973], the carbon detection limit is $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ [Shimadzu, 2001], and about 20 TOC samples may be analyzed within 24 hours with a reproducibility of $2.3 \mu\text{mol L}^{-1}$ and an accuracy of $1.5 \mu\text{mol L}^{-1}$. In addition to the conversion of the gas lines and the connection of a nitrogen gas bottle for the purge process, self-packed quartz tube halogen scrubber were used (improved visual control capability). A pretreatment procedure of the new, more effective catalyst was developed, which is more rapidly stable at lower blank values.

(2) Analysis of samples of the M/V Atlantic Companion cruises

The determination of DOC and POC are made from surface seawater samples that were taken on board the M/V Atlantic Companion in the North Atlantic between 10°W and 55°W from October 2011 to October 2012. The determined DOC concentrations range from 40 to $111 \mu\text{mol kg}^{-1}$, the concentrations of the POC include a span from 3.4 to $45 \mu\text{mol kg}^{-1}$. In addition, the temperature, salinity and nitrate and climatological data of the mixed layer depth and chlorophyll satellite images are used for analysis. The concentrations of DOC are indirectly calculated by subtraction ($\text{DOC} = \text{TOC} - \text{POC}$). The POC samples are analyzed with a CN-elemental analyzer EuroEA (HEKA-tech GmbH, detection limit about $1 \mu\text{mol C}$).

(3) Analysis and discussion of results

The data is used to analyze the complete annual cycles of DOC and POC in the surface waters of the western and eastern North Atlantic, and to identify and explain variability in the seasonal progressions. In addition regional differences in the seasonal signals and in the absolute values in the North Atlantic Drift Province (NADR) and the Northwest Atlantic continental shelf region (NWCS) by Longhurst [1998] due to the influence investigated by surface currents (Labrador Current, Gulf Stream, eddies) are examined. A longitude dependence in the surface ocean of the North Atlantic can be seen: the further west, the lower the seasonal DOC and POC amplitudes, the lower the maximum of absolute DOC and POC values, the more pronounced is the phenomenon of nitrate dependence of the DOC. The variation of the DIC sink to the POC and DOC increase is attributed to the export of POC and DOC out of the mixed layer. In addition to that, the western part shows a higher variability, which is caused by physical processes (advection and eddies) in contrast to the strongly biological driven Northeast Atlantic.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 9 |
| 2 | Wissenschaftlicher Hintergrund..... | 11 |
| 2.1 | Gelöster und partikulärer organischer Kohlenstoff | 11 |
| 2.1.1 | DOC und POC: Definitionen | 11 |
| 2.1.2 | DOC und POC: Vorkommen im marinen System..... | 12 |
| 2.1.2.1 | DOC und POC: Räumliche Variabilität..... | 13 |
| 2.1.2.2 | DOC und POC: Zeitliche Variabilität | 14 |
| 2.1.3 | DOC und POC: Quellen, Senken und Transformationen in der Wassersäule ... | 15 |
| 2.2 | Der marine Kohlenstoffkreislauf und das Carbonatsystem | 17 |
| 2.3 | Der Nordatlantische Ozean | 22 |
| 2.3.1 | Biogeochemische Provinzen..... | 23 |
| 2.3.1.1 | NWCS | 23 |
| 2.3.1.2 | NADR..... | 24 |
| 2.3.2 | Oberflächenströmungen..... | 25 |
| 2.3.2.1 | Das Golfstromsystem | 27 |
| 2.3.2.2 | Labradorstrom | 28 |
| 2.3.2.3 | NAD..... | 29 |
| 3 | Material und Methode | 30 |
| 3.1 | Probenahme an Bord der M/V Atlantic Companion..... | 30 |
| 3.2 | TOC/TN..... | 33 |
| 3.2.1 | Probenahme TOC/TN | 33 |
| 3.2.2 | Probenlagerung TOC/TN | 33 |
| 3.2.3 | Analytische Arbeit: Bestimmung von TOC und TN | 33 |
| 3.2.3.1 | Reinigung der Glasgeräte TOC..... | 33 |
| 3.2.3.2 | Messprinzip: TOC und DOC..... | 34 |
| 3.2.3.3 | Messprinzip TN..... | 34 |
| 3.2.3.4 | Analytisches System und Handhabung TOC/TN..... | 35 |
| 3.2.3.5 | Veränderungen am TOC-VCSN Gerät: halogen-scrubber..... | 38 |
| 3.2.3.6 | Handhabung des TOC-VCSN Geräts | 39 |
| 3.2.3.7 | Katalysatorchargen und -regeneration TOC | 40 |
| 3.2.3.8 | Blank TOC/TN | 42 |
| 3.2.3.9 | Kalibrierung und Standards TOC/TN | 42 |
| 3.2.3.10 | Referenz-Material TOC..... | 47 |
| 3.2.3.11 | Katalysatoreffizienz- Experimente TOC | 50 |
| 3.2.3.12 | Qualitätskontrolle TOC/TN..... | 51 |
| 3.2.3.13 | Fehlerbetrachtung TOC/TN | 51 |
| 3.3 | POC/PON | 53 |
| 3.3.1 | Probenahme, Filtration und Probenlagerung POC/PON..... | 53 |
| 3.3.2 | Analytische Arbeit: Bestimmung von POC/PON | 53 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.3.2.1 | Probenvorbereitung POC/PON | 53 |
| 3.3.2.2 | Analytisches System und Handhabung POC/PON | 55 |
| 3.3.2.3 | Blank POC/PON | 58 |
| 3.3.2.4 | Kalibrierung und Standards POC/PON | 58 |
| 3.3.2.5 | Qualitätskontrolle POC/PON | 61 |
| 3.3.2.6 | Fehlerbetrachtung POC/PON..... | 61 |
| 4 | Ergebnisse und Diskussion..... | 62 |
| 4.1 | Einteilung des Fahrtengebiets..... | 62 |
| 4.2 | Temperatur, Salinität und Oberflächenströmungen..... | 63 |
| 4.3 | Winterlicher Hintergrund..... | 70 |
| 4.4 | Saisonalität von DOC | 71 |
| 4.5 | Saisonalität von POC und PON | 73 |
| 4.6 | Saisonalität von Nitrat..... | 78 |
| 4.7 | Nitratabhängigkeit von DOC..... | 78 |
| 4.8 | Kohlenstoffbudget..... | 81 |
| 4.8.1 | Klimatologie der durchmischten Deckschichttiefe des Nordatlantiks..... | 81 |
| 4.8.2 | Saisonalität von TOC | 81 |
| 4.8.3 | Neue Produktion und Export..... | 85 |
| 4.9 | C : N-Verhältnisse im Oberflächenwasser des Nordatlantiks..... | 88 |
| 4.9.1 | C : N-Verhältnis des insgesamt vorhandenen POM..... | 88 |
| 4.9.2 | C : N-Verhältnis des saisonalen, neu produzierten POM..... | 89 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 91 |
| 6 | Danksagung..... | 95 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 96 |
| 8 | Abkürzungsverzeichnis..... | 99 |
| 9 | Abbildungsverzeichnis..... | 101 |
| 10 | Tabellenverzeichnis..... | 105 |

1 Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit ist im Rahmen des von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projektes Carbochange (Changes in Carbon Uptake and Emissions by Oceans in a Changing Climate) in den Abteilungen der chemischen Ozeanographie und der biologischen Ozeanographie des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel entstanden.

Das Augenmerk der biogeochemischen Forschung ist in den letzten Jahren vermehrt auf das gelöste organische Material (DOM, dissolved organic carbon) fokussiert worden [Hansell *et al.*, 2001, Pilson, 1998]. Dieses Interesse entstammt dem großen Vorkommen und der Dynamik des DOM im Ozean. Den größten Anteil am DOM trägt dabei der gelöste organische Kohlenstoff (DOC, dissolved organic carbon), dessen Reservoir in etwa der Menge Kohlenstoff entspricht (~ 662 Gt C), die als Kohlenstoffdioxid (CO_2) in der Atmosphäre vorhanden ist [Hansell *et al.*, 2009]. Im tiefen Ozean liegen die DOC-Konzentrationen bei ca. $34 \mu\text{mol L}^{-1}$ wohin gegen im Oberflächenozean bis zu $> 90 \mu\text{mol L}^{-1}$ [Hansell *et al.*, 2002] ermittelt werden.

Duursma [1961] lieferte die ersten modernen Beobachtungen von DOC-Variationen in Raum und Zeit im Nordatlantik, welche z.B. zeigt, dass DOC im offenen Ozean saisonal variiert. Er schätzte die jährliche Produktion von DOC im Oberflächenwasser des offenen Nordatlantiks auf 52 g C m^{-2} . Dennoch sind heute erst wenige Datensätze vorhanden, die einen vollständigen saisonalen Zyklus in den organischen Kohlenstoff Spezies im Oberflächenwasser des Nordatlantiks wieder geben und demnach ist bisher nur wenig über die regionalen und monatlichen Variabilitäten bekannt.

Untersuchungen des partikulären organischen Material-Pools (POM, particulate organic carbon), hinsichtlich des C : N-Verhältnisses in einem ausgewählten ozeanischen Gebiet lassen hierfür beispielsweise Aussagen über die Beziehung zwischen biologischer Produktion, Respirations-Prozessen und Export des organischen Materials in die Tiefe zu.

Die Primärproduktion von organischem aus anorganischem Kohlenstoff durch die Photosynthese des Phytoplanktons ist eine bedeutende Quelle für partikulären organischen Kohlenstoff (POC, particulate organic carbon) im Ozean, welcher in direkter biologischer Verknüpfung zum DOC steht. Die Primärproduktion erfolgt in der Modelvorstellung von Redfield, Ketchum und Richards in einem durchschnittlichen C : N-Verhältnis von 6,6 [Redfield *et al.*, 1934]. Erhöhte POC- und PON (particulate organic nitrogen, partikulärer organischer Stickstoff)-Konzentrationen werden während der Phytoplanktonblüten nahe der Meeresoberfläche gefunden [Wurl *et al.*, 2009], wie es auch im Rahmen dieser Arbeit beobachtet werden konnte. Die Veränderungen im Pool des POC haben ausgeprägte Effekte auf die Flüsse von Kohlenstoff und Nährstoffen wie Nitrat.

Im Vordergrund dieser Arbeit steht die Messung von DOC- und POC / PON-Oberflächen-seewasserproben die an Bord der M/V Atlantic Companion im subpolaren Nordatlantik zwischen 10 °W und 55 °W von Oktober 2011 bis Oktober 2012 genommen wurden.

Die Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC, total organic carbon) erfolgt nach dem derzeit gängigsten Verfahren zur Bestimmung von DOC, der HTCO-Methode (high-temperature combustion/catalytic oxidation, Hochtemperatur-Verbrennungs-Oxidation) von *Sharp* [1973], bei der organischer Kohlenstoff quantitativ in CO₂ überführt und detektiert wird. Zu diesem Zweck wird das TOC-V_{CSN}-Gerät der Firma Shimadzu wieder in Betrieb genommen und die Messprozedur soll optimiert werden. Die Konzentration des DOC wird indirekt durch Differenzbildung ($\text{DOC} = \text{TOC} - \text{POC}$) berechnet.

Das Hauptaugenmerk der Auswertung liegt auf der Saisonalität der DOC- und POC-Daten. Hierfür werden die Temperatur-, Salinitäts-, Nitrat- und DIC-Daten, aber auch Chlorophyll-Satellitenbilder und klimatologische MLD-Daten (Tiefe der durchmischten Deckschicht, mixed layer depth) zur Auswertung herangezogen und deren Korrelationen untersucht.

Die Daten werden verwendet, um die kompletten Jahreszyklen (Oktober 2011 bis 2012) von DOC und POC im Oberflächenwasser des westlichen und östlichen Nordatlantiks zu analysieren und um Variabilitäten in den saisonalen Verläufen zu identifizieren und erklären zu können. Es werden weiterhin regionale Unterschiede in den saisonalen Signalen, sowie in den Absolutwerten innerhalb der Nordatlantischen Drift-Provinz (NADR, North Atlantic Drift) und der Nordwest Atlantischen Kontinentalschelf-Region (NWCS, Northwest Atlantic Continental Shelf) nach *Longhurst* [1998] untersucht.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst auf die Grundlagen der Chemie von organischem Kohlenstoff im Ozean, sowie die Quellen und Senken und die Bedeutung im marinen Kohlenstoffkreislauf eingegangen. Weiterhin erfolgt eine Übersicht über die regionale Ozeanographie des subpolaren Nordatlantiks. Im Anschluss wird die experimentelle Arbeit mit den untersuchten Proben und den angewandten analytischen Methoden beschrieben und schließlich werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

2 Wissenschaftlicher Hintergrund

2.1 Gelöster und partikulärer organischer Kohlenstoff

2.1.1 DOC und POC: Definitionen

Der Begriff „gelöster organischer Kohlenstoff“ lässt sich praktisch definieren: DOC ist der Teil des TOC, der bei einer Filtration mit einer Porengröße von 0,45 - 1,0 µm durch den Filter gelangt. POC ist entsprechend die organische Fraktion, die auf dem Filter der gleichen Porengröße verbleibt [Hansell *et al.*, 2002].

Diese praktischen Definitionen gelten analog für den PON bzw. den gelösten organischen Stickstoff (DON, dissolved organic nitrogen). Entsprechend ist eine Bestimmung der beiden Parameter aus derselben filtrierten Probe möglich. POM, das auf diese Weise im offenen Ozean erfasst wird, enthält im Allgemeinen nur einen kleinen Teil des gesamten marinen Kohlenstoffs.

Alle lebenden Organismen, abgesehen von Viren, fallen in die Fraktion des POM (vgl. Abbildung 1) [Wangersky, 1993]. Beispielsweise werden Phytoplankton, die meisten Bakterien und andere kleine Organismen wie Mikrozooplankton in diese Kategorie eingeordnet, sowie Partikel und Aggregate, die ihren Ursprung in größerem Zooplankton (Fäkalpellets, Chitinpansen) haben [Ehrhardt *et al.*, 1999]. Unterschiedliche zusammenfassende Zustandsgrößen, wie z. B. der Chlorophyllgehalt und der POC im Seewasser, stecken in dem Begriff „partikuläres Material“. Diese lassen nur allgemeine Aussagen zu, denn sie werden von unterschiedlichen autotrophen bzw. heterotrophen Organismengruppen gebildet und beeinflusst. In die DOC-Fraktion fallen unter anderem Kolloide und leere bakterielle Zellwände. Der reaktive kolloidal gelöste organische Kohlenstoff (COC, colloidal organic carbon) hat dabei den Hauptanteil [Dai *et al.*, 2001]. Eine schematische Einteilung in POC und DOC ist in Abbildung 1 dargestellt.

Für die Bestimmung des Anteils des DOC am TOC im Meerwasser kommen zwei Wege in Frage. Wenn der partikuläre Anteil bekannt ist, kann die Separation der beiden Spezies rein mathematisch erfolgen, in dem man vom gemessenen TOC-Gehalt, den in einer separaten Messung erhaltenen POC-Wert subtrahiert. Eine weitere Möglichkeit ist eine direkte DOC-Messung, in dem man eine filtrierte Probe analysiert. Praktisch sind DOC und POC jedoch schwierig separierbar. Ein Teil der partikulären Fraktion wird bei der Filtration unter Umständen mechanisch in gelöstes Material überführt (Zerstörung von Zellen), so dass die Filtration nur unter geringem Überdruck (< 200 mbar) stattfinden sollte [Savenkoff *et al.*, 2000].

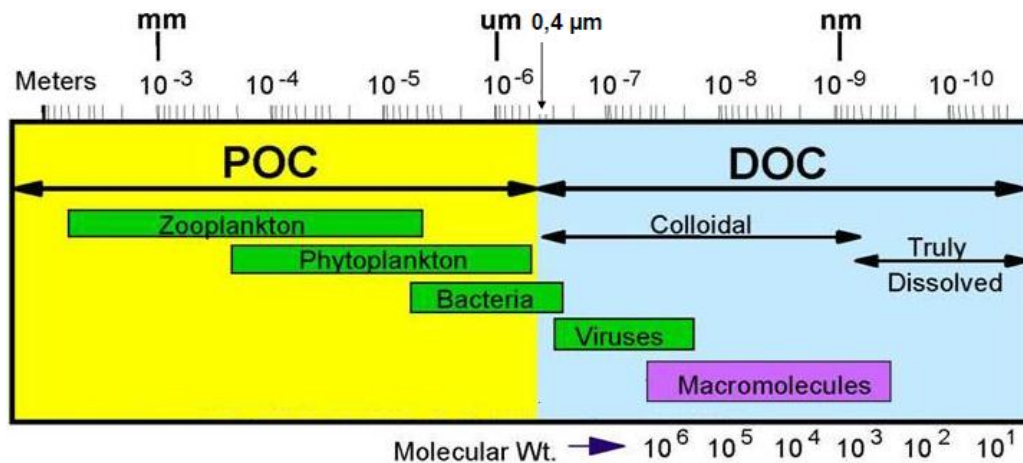


Abb. 1: Schematische Einteilung in POC- und DOC-Fractionen. Mit Veränderungen nach [Verdugo et al., 2004].

Weiterhin ist die rein rechnerische Separation nicht ganz korrekt, denn auch leichter flüchtige organische Kohlenstoffe (VOC, volatile organic carbon), zu denen beispielsweise Halogenkohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Ester und Ketone gehören, tragen einen Anteil von 1,5 bis 6 % am TOC [MacKinnon, 1979]. Entsprechend lässt sich eine vereinfachte Definition für den gesamten organischen Kohlenstoff im Meerwasser wie folgt schreiben:

$$\text{TOC} = \text{POC} + \text{DOC} + \text{VOC}.$$

Aufgrund der zufälligen Kontamination während der Filtration (1 bis 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ [Hansell et al., 1998]) und dem großen Anteil von DOC am TOC, bezeichnen einige Forschungsgruppen die unfiltrierte Probe als DOC-Fraktion. Diese Vereinfachung ist zulässig, abgesehen von Oberflächenwasser-Proben, die während der Phytoplanktonblüte genommen werden, denn dann ist der partikuläre Anteil unter Umständen so groß wie die gelöste Kohlenstoffkonzentration [Wangersky, 1992].

2.1.2 DOC und POC: Vorkommen im marinen System

DOC repräsentiert mit Abstand den größten Pool von organischem Kohlenstoff im Ozean (vgl. Tabelle 1) und bildet nach dem sehr großen Pool von gelöstem anorganischem Kohlenstoff (38000 Pg C) den Zweitgrößten der bioreaktiven Kohlenstoff-Pools im Ozean (660 - 700 Pg C) [Hansell et al., 2009, Hansell et al., 1998a, Houghton, 2007, Pilson, 1998]. Der DOC-Pool ist vergleichbar mit dem atmosphärischen Kohlenstoff-Reservoir (ca. 750 Pg) [Hansell et al., 2002] und die Größe des Reservoirs zeigt, dass DOC eine zentrale Rolle im marinen Kohlenstoffkreislauf spielt. Das ozeanische DOC-Reservoir ist um den Faktor 200 größer, als das Kohlenstoffinventar der lebenden Biomasse im Ozean (vgl. Tabelle 1) [Hansell et al., 2009]. Im Vergleich zum DOC und DIC, umfasst der POC-Pool im nährstoffarmen oligotrophen Ozean nur 1 - 2 % des gesamten marinen Kohlenstoffs (TC, total carbon) [Dafner et al., 2002a].

Tabelle 1: Größenordnungseinschätzung der Konzentrationen verschiedener Klassen von organischem Kohlenstoff im Seewasser und ihre ungefähren prozentualen Anteile am TOC. Mit Veränderungen nach [Pilson, 1998].

| Organ. Kohlenstoff Spezies | Konzentrationsbereich [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | % von TOC |
|----------------------------|---|-----------------------------|
| DOC | 34 - 200 [Hansell et al., 2009, Sharp et al., 2002] | 90 - 99 |
| POC | 1 - 3 | <1 - 10 |
| VOC | 1 - 15 | <1 - 6 [MacKinnon, 1979] |
| Lebende Biomasse | | <0,1 - 10 |

2.1.2.1 DOC und POC: Räumliche Variabilität

Die DOC-Konzentration im tiefen Ozean liegt im Bereich von $34 - 50 \mu\text{mol L}^{-1}$ [Hansell et al., 2009]. Im Oberflächenwasser des offenen Ozeans werden höhere DOC-Konzentrationen gefunden. Hierbei handelt sich fast ausschließlich um authochthones (in situ durch Photosynthese erzeugtes) DOC [Hansell et al., 2009]. Bis zu durchschnittlich $80 \mu\text{mol L}^{-1}$ DOC sind im Oberflächenwasser von tropischen und subtropischen Systemen (40°N bis 40°S) vorhanden [Dafner et al., 2002b, Hansell et al., 2009].

Im Oberflächenwasser des subpolaren Ozeans werden niedrigere Konzentrationen von $40 - 60 \mu\text{mol L}^{-1}$ DOC aufgrund des Mischens mit Tiefenwasser, welches geringe DOC-Konzentrationen enthält (vgl. Abbildung 2) beobachtet [Carlson et al., 2010, Hansell et al., 2009]. Dieser Effekt kann in den hohen Breitengraden vor allem im Winter beobachtet werden [Hansell et al., 2001]. In diesen Gebieten begleitet der Anstieg in der DOC-Konzentration den frühjährlichen Anstieg in der Primärproduktion [Carlson et al., 2000] und die erhöhte Wassersäulenstabilität begünstigt sowohl das Phytoplanktonwachstum, als auch die DOC-Akkumulation im Oberflächenozean [Hansell et al., 2001].

In Küstengebieten, in denen Auftrieb eine Rolle spielt, sind die DOC-Werte ebenfalls aufgrund der aufsteigenden Wassermassen und dem Verdünnungseffekt relativ gering, auch wenn die Primärproduktion verhältnismäßig hoch ist [Hansell et al., 2001].

Die höchsten DOC-Konzentrationen findet man in küstennahen Gebieten (bis zu $200 \mu\text{mol L}^{-1}$ in Flussmündungsgebieten) [Sharp et al., 2002]. In diesen Gebieten liegt ein hoher Anteil an allochthonem (gebietsfremdem, eingetragenem) DOC vor.

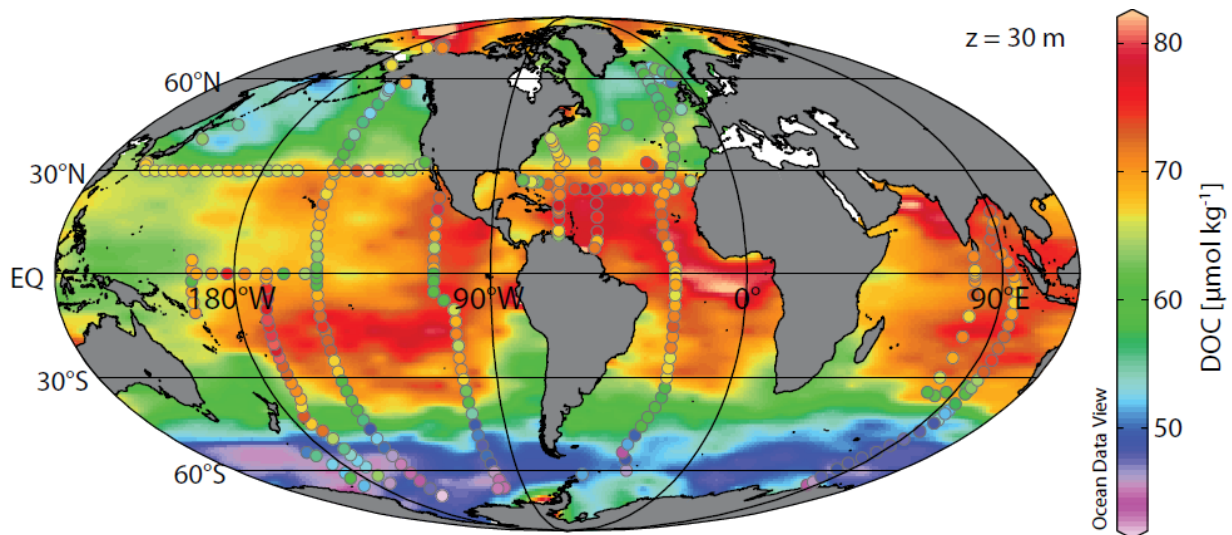


Abb. 2: Weltweite Verteilung von DOC [$\mu\text{mol kg}^{-1}$] in 30 m Tiefe. Kreise beschreiben beobachtete Werte, während der Hintergrund modelliert ist [Hansell et al., 2009].

Im Oberflächenwasser des offenen Ozeans beträgt der POC ca. 5 - 10 % des TOC und geringere Konzentrationen ($< 1\%$) an suspendiertem POM sind in der Regel im Inneren des Ozeans vorzufinden [Dafner et al., 2002a, Gordon, 1977].

Erhöhte POC-Konzentrationen werden während der Phytoplanktonblüten [Wurl et al., 2009] nahe der Meeresoberfläche, sowie unter Auftriebsbedingungen und in Küstengewässern gefunden [Lochte et al., 1993, Smetacek et al., 1984]. Die ungleichmäßige Verbreitung der Phytoplanktonblüten kann für zeitliche und räumliche Veränderungen in den POC- und PON-Konzentrationen innerhalb der oberflächennahen Wasserschichten verantwortlich sein („patchiness“, kleinskalige Variabilität) [Riley, 1970].

2.1.2.2 DOC und POC: Zeitliche Variabilität

Saisonale Zyklen in der DOC-Verteilung sind eng an die Phytoplanktonblüte und Flusseinträge gebunden. Starke saisonale Anstiege in der DOC-Konzentration aufgrund der Phytoplanktonblüte sind charakteristisch für Systeme, die hohe Einträge von neuen Nährstoffen während der Wintermonate erfahren [Hansell et al., 2001]. Die DOC-Konzentrationen steigen entsprechend im Oberflächenwasser vom winterlichen Tief zum sommerlichen Hoch [Carlson et al., 2000]. Ist die Phytoplanktonblüte schwach aufgrund von Tiefenwasserdurchmischung oder Eisenlimitierung, so bleibt die DOC-Konzentration niedrig [Hansell et al., 2001].

2.1.3 DOC und POC: Quellen, Senken und Transformationen in der Wassersäule

Die euphotische Zone ist der wichtigste Ort der primären und sekundären Produktion organischer Substanz im offenen Ozean. Die wichtigsten, bisher bekannten marinen DOC-Quellen sind der mikrobielle Kreislauf (microbial loop) [Dafner *et al.*, 2002b], die extrazelluläre Freisetzung von Phytoplankton und die Freisetzung über Zellyse (sowohl viral als auch bakteriell) [Hansell *et al.*, 2002, Smith *et al.*, 1992], die Absonderungen von Zooplankton (Grazer) [Dafner *et al.*, 2002b], die bakterielle Transformation und Freisetzung [Fuhrmann, 1999], der terrestrische Eintrag über Flüsse ($0,22 \text{ Gt DOC yr}^{-1}$) [Meybeck, 1982, Pilson, 1998], Staubevents und Regenwasser (atmosphärischer Eintrag) [Dafner *et al.*, 2002b, Willey *et al.*, 2000], die Solubilisierung des partikulären Materials durch bakterielle Enzyme [Smith *et al.*, 1992] und das Sediment [Dafner *et al.*, 2002b, Pilson, 1998]. Die Produktion von organischem Material durch Phytoplankton (Primärproduktion) ist die bedeutendste marine DOC- und POC-Quelle. Nettoproduktion zeigt sich am deutlichsten in Meeresregionen, die jährliche Phytoplanktonblüten erleben. Die Qualität und Quantität des DOM, das während dieser Blüten erzeugt wird, ist sehr unterschiedlich und wird durch eine Reihe von biologischen, chemischen und physikalischen Parametern gesteuert [Hansell *et al.*, 2002]. Viele biologische Prozesse führen zur Herstellung von DOM, z.B. tritt es als Nebenprodukt während der nicht-quantitativen Nahrungsaufnahme des Zooplanktons („sloppy feeding“) auf. Durch die dabei stattfindende Zerstörung der Zellen wird POC in DOC überführt [Lampert, 1978]. Bei der Verdauung der Grazer („fecal pellets“, Fäkalteilchen) wird ebenfalls DOC frei gesetzt [Dafner *et al.*, 2002b, Pilson, 1998].

Ein Teil des Kohlenstoffs, der aus dem planktonischen Nahrungsnetz als DOC verloren geht, wird dann durch heterotrophes Bakterioplankton, was den mikrobiellen Zyklus einleitet, geborgen [Azam *et al.*, 1983]. Heterotrophes Bakterioplankton ist der größte DOM-Verbraucher. HMW-DOM (high molecular weight, hohes Molekulargewicht $> 1000 \text{ Da}$) wird durch Hydrolyse in LMW-DOM (low molecular weight, geringes Molekulargewicht $< 1000 \text{ Da}$) überführt, welches anschließend entweder umgewandelt wird zu neuer Biomasse oder wieder in seine anorganischen Bestandteile remineralisiert wird [Ducklow *et al.*, 1986]. Dies stellt einen bedeutenden biotischen DOC-Senkenprozess dar. Das heterotrophe Bakterioplankton vermag jedoch auch DOM, z.B. in Form von bakteriellen Partikeln oder hydrolysierten Enzymen freizusetzen [McCarthy *et al.*, 1998].

Die Stabilität des DOM-Pools gegenüber den variierenden Netto-Primärproduktionsraten offenbart, dass es weitere DOM-Senken, biotischer oder abiotischer Natur, geben muss [Hansell *et al.*, 2002]. Zu den abiotischen Senkenprozessen gehört u.a. die Photooxidation: Refraktäres DOM (mittlere Aufenthaltszeit im Ozean: 6000 Jahre [Williams *et al.*, 1987]) wird in labiles, leichter konsumierbares DOM (Umsetzung auf Stunden-Zeitskala) transformiert, oder sogar bis zum CO_2 oxidiert [Hansell *et al.*, 2002]. Weiterhin ist die Aggregation von

gelösten Makromolekülen eine abiotische Senke, bei dem partikuläre Aggregate entstehen, welche sedimentieren [Engel *et al.*, 2004]. Ebenso können solch gelöste Moleküle an sinkenden Partikeln adsorbieren und werden aus der Wassersäule durch Sedimentation entfernt [Nagata *et al.*, 1996].

POM kann auch abiotisch als so genannter "marine snow" aus suspendierten kleinen Partikeln, gelösten oder kolloidalen organischen Substanzen gebildet werden und sedimentiert in Form von sinkenden Aggregaten [Alldredge *et al.*, 1988]. Nur ein kleiner Teil ($<0,1\%$) des organischen Materials, das an der Oberfläche durch Photosynthese hergestellt wird, entweicht den Respirations- und Remineralisationsprozessen und sammelt sich in marinen Sedimenten an (vgl. Abbildung 3) [Pilson, 1998]. Die wesentlichen Quellen- und Senken-Prozesse für den DOC-Pool im marinen System sind in Abbildung 3 dargestellt.

Prozesse, die die DOM-Produktion, den Konsum und die Verteilung steuern, sind biogeochemisch bedeutend im Hinblick auf den Kohlenstoffexport und die Speicherung von Kohlenstoff im Inneren des Ozeans [Hansell *et al.*, 1998a].

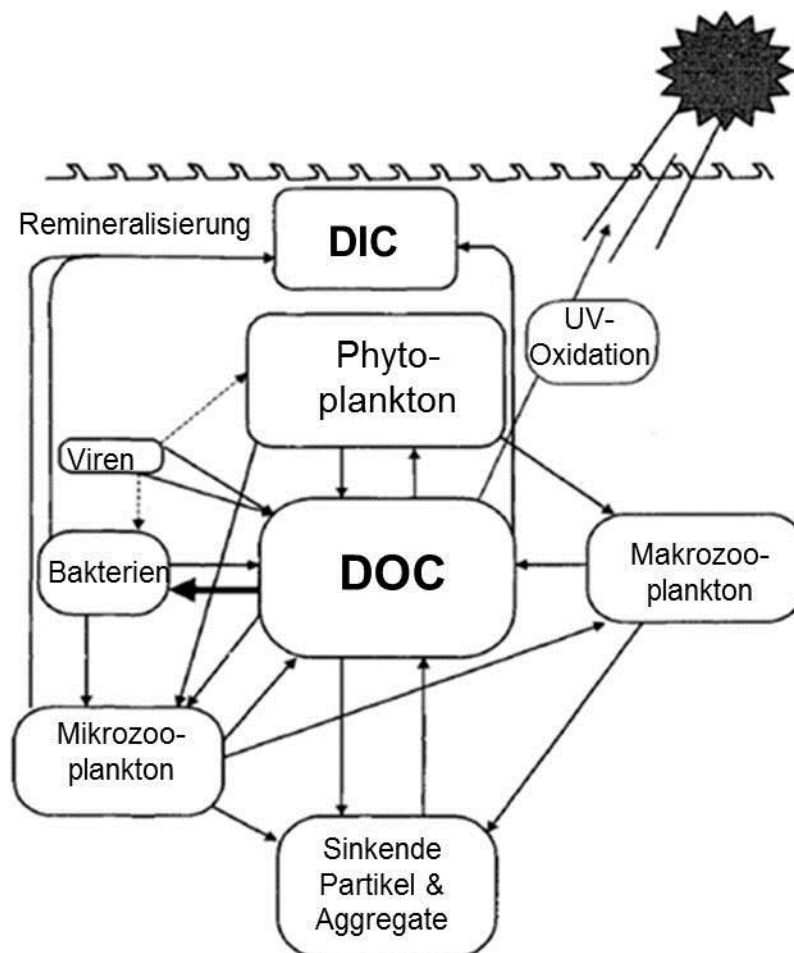


Abb. 3: Schematische Darstellung der verschiedenen DOC-Quellen- und Senkenprozesse im marinen System. Mit Veränderungen nach [Hansell *et al.*, 2002].

Der marine Kohlenstoffkreislauf (vgl. Abbildung 4) ist komplex und beinhaltet Reaktionen innerhalb des Ozeans und den Austausch mit den anderen beiden wichtigsten globalen Reservoiren: Atmosphäre und Land und steht im besonderen Interesse der Forschung, da Kohlendioxid eines der wichtigsten Treibhausgase in der Atmosphäre ist [Emerson et al., 2008]. Es ist wichtig, dass die Prozesse verstanden werden, die die Aufnahme von CO_2 in den Ozean kontrollieren, weil Vorhersagen über das globale Klima davon abhängen, wie CO_2 auf die globalen Kohlenstoff-Reservoir aufgeteilt wird. Austausch zwischen den Reservoiren findet in erster Linie über den CO_2 -Gasaustausch, den Fluss des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (dissolved inorganic carbon, $\text{DIC} = \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2$) in den Flüssen und über das Sedimentieren des Calciumcarbonat (CaCO_3) statt [Emerson et al., 2008]. Die Flussrichtung des Austausches von CO_2 zwischen Atmosphäre und Ozean hängt von einer Vielzahl von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern ab und wird vorwiegend über die Partialdruckdifferenz ($\Delta p\text{CO}_2$) des CO_2 zwischen Meeresoberfläche und Atmosphäre kalkuliert. Ein Netto- CO_2 -Fluss von der Atmosphäre über die Phasengrenzfläche Ozean / Atmosphäre in den Ozean erfolgt, wenn der Partialdruck von CO_2 ($p\text{CO}_2$) im Wasser niedriger ist als in der Atmosphäre. Das Prinzip der CO_2 -Abgabe aus dem Ozean in die Atmosphäre erfolgt analog in umgekehrter Richtung.

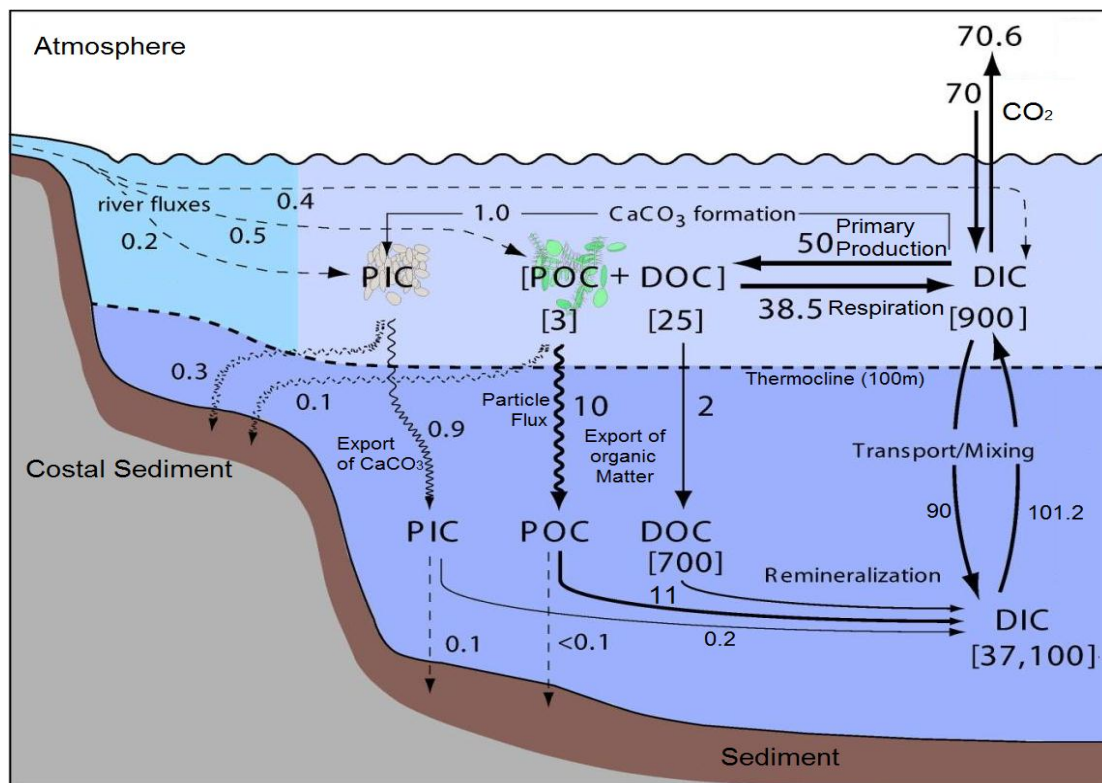


Abb. 4: Der marine Kohlenstoff-Kreislauf mit den Quellen- und Senken-Prozessen.
Einheiten der angegebenen Zahlen: Pg = 10^{15} g; Angaben in eckigen Klammern []: Reservoir-Größe in Pg; Angabe der Flussraten in Pg yr⁻¹.
Mit Veränderungen nach [Riebesell et al., 2011].

Im Ozean reagiert das aufgenommene physikalisch gelöste CO_2 mit Wasser zur Kohlensäure und deren Dissoziationsprodukten Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und Carbonat (CO_3^{2-}):

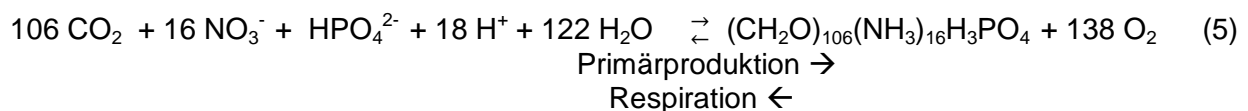


Die oben stehenden Reaktionsgleichungen beschreiben das marine Carbonatsystem mit der CO_2 -Speziation, welche eine erhebliche biogeochemische Auswirkung hat. Keine der Konzentrationen der anorganischen Kohlenstoffkomponenten im Seewasser kann direkt gemessen werden. Eine vollständige Charakterisierung des Carbonatsystems basiert auf den Dissoziationskonstanten der Kohlensäure, sowie auf der Messung von Temperatur, Salinität, Druck und den folgenden vier Parametern: pH-Wert, Gesamtalkalinität (Total alkalinity, TA), DIC und $p\text{CO}_2$. Bei Kenntnis von zweien dieser Parameter, lassen sich die anderen beiden berechnen und das System beschreiben [Dickson et al., 2007, Körtzinger, 2010].

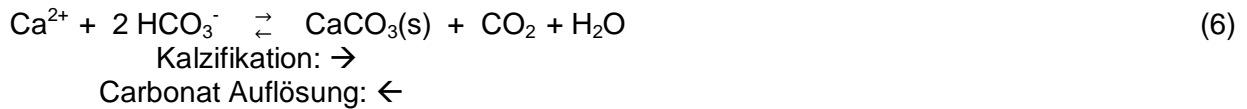
Die Aufnahme des CO_2 in den Oberflächenozean ist temperaturabhängig. Im Zuge der thermohalinen Ozeanzirkulation (Temperatur und Salinität respektive Dichte getrieben; „global ocean conveyor belt“ [Broecker, 1991]) wird kaltes, CO_2 -reiches Oberflächenwasser während der winterlichen Tiefenwasserbildung im Nordatlantik (Labrador- und Grönlandsee) durch Konvektion in die Tiefe getrieben. Hierdurch wird anorganischer Kohlenstoff in den tiefen Ozean verbracht. Eine Ausbreitung der Wassermassen entlang der Dichtegradienten erfolgt bis in den Pazifik. Durch Auftrieb der CO_2 -haltigen Wassermassen gelangt das physikalisch gelöste CO_2 wieder an die Oberfläche, wodurch die Aufnahme des CO_2 aus der Atmosphäre verringert wird oder sogar eine Abgabe von CO_2 aus dem Oberflächenozean erfolgt [Schuster et al., 2009]. Dieses Phänomen wird als physikalische Pumpe (Löslichkeitspumpe) bezeichnet (vgl. Abbildung 5).

Zu den bedeutendsten Reaktionen des marinen Kohlenstoffkreislaufs (vgl. Abbildung 4) gehören die Bildung und die Zerstörung von organischer Substanz durch Photosynthese (Primärproduktion) bzw. Respiration:

Redfield-Ketchum-Richards-Model (soft tissue pump) [Redfield, 1934]:



sowie die Fällung (Kalzifikation) und das Auflösen von biogenen Carbonaten (hard tissue pump) [Körtzinger, 2010]:



DIC und anorganischer Stickstoff (dissolved inorganic nitrogen, $\text{DIN} = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) gelangen in den organischen Kreislauf, indem diese durch Photosynthese in POM transformiert werden (vgl. Abbildung 4 [POC+DOC]).

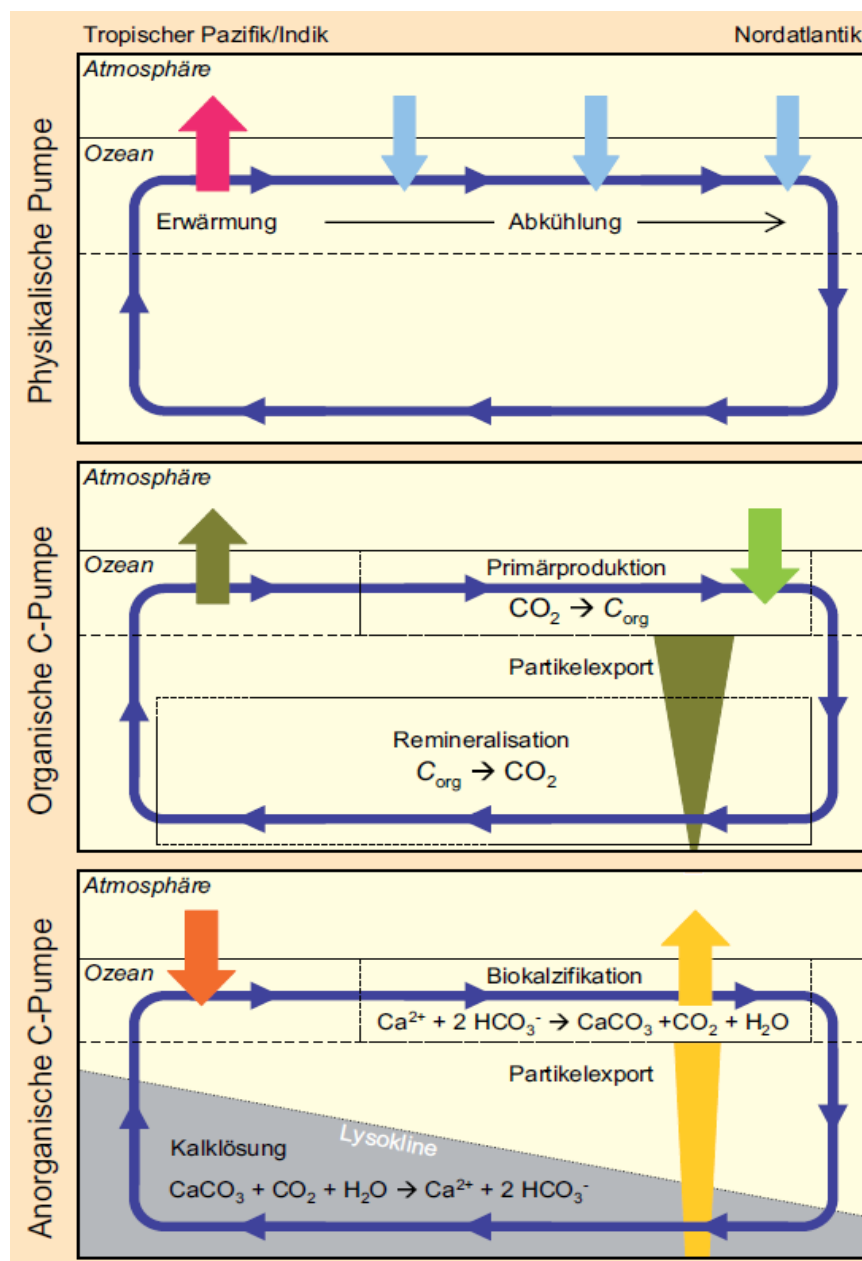


Abb. 5: Schematische Darstellung der physikalischen und biologischen C-Pumpen (organische und anorganische C-Pumpe) und ihrer Wechselwirkung mit der thermohalinen Zirkulation [Körtzinger, 2010].

Durch die Remineralisierung und die Respiration der organischen Substanzen werden die verschiedenen Stickstoff- und Kohlenstoffkomponenten wieder freigesetzt, wodurch der Kreislauf geschlossen wird.

Das durchschnittliche C : N-Verhältnis von 6,6 [Redfield, 1934] kann mit dem Anteil von lebenden Planktonzellen variieren und beschreibt den Zustand einer organischen Substanz. Weiterhin kommt es, vor allem in Oberflächenwasser, häufig zu Abweichungen von dem durchschnittlichen C : N-Verhältnis (vgl. [Körtzinger et al., 2001]). Aufgrund von Phytoplanktonblüten werden hier C : N-Verhältnisse von bis zu 14 erreicht [Sambrotto et al., 1993]. Die um bis zu 112 % höheren Werte lassen sich mit der erhöhten Kohlenstoffaufnahme pro gezehrtem Nitrat („carbon overconsumption“ [Toggweiler, 1993]) erklären. Das gebildete organische Material (DOM und POM) ist entscheidend im marinen organischen Kohlenstoffkreislauf, welcher schematisch in Abbildung 6 dargestellt ist.

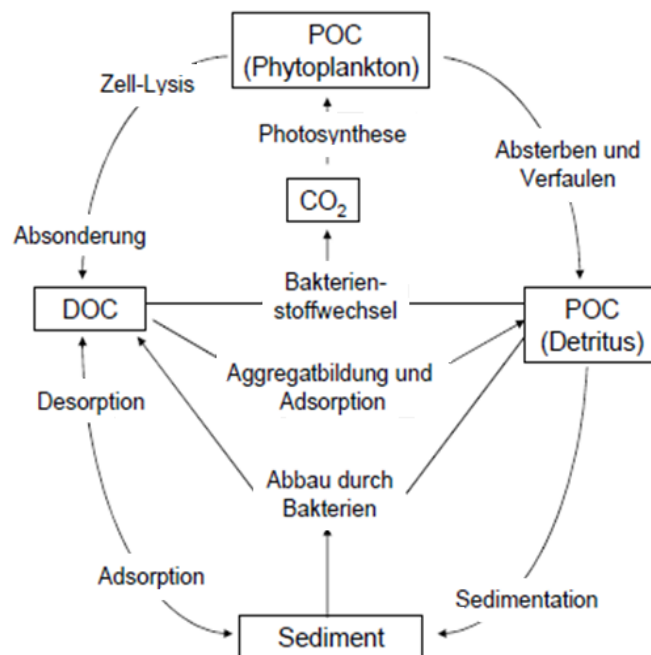


Abb. 6: Der marine organische Kohlenstoffkreislauf.
Mit Veränderungen nach [Steinhoff, 2004].

Der durch die im Oberflächenozean stattfindende Primärproduktion erzeugte organische Kohlenstoff ($\sim 50 \text{ Gt C yr}^{-1}$ [Körtzinger, 2010]) wird in der euphotischen Zone entweder recycelt (Respiration, $\sim 38 \text{ Gt C yr}^{-1}$ [Körtzinger, 2010]) und als anorganischer Kohlenstoff ins Meerwasser zurückgeführt, oder Partikel (Detritus, $\sim 11 \text{ Gt C yr}^{-1}$ [Körtzinger, 2010]) sinken in Tiefen unterhalb der lichtdurchfluteten Deckschicht, wo diese ebenfalls verstoffwechselt ($>99\%$ [Körtzinger, 2010]), oder im Sediment abgelagert werden ($< 0,1 \text{ Gt yr}^{-1}$ [Körtzinger, 2010]) [Schuster et al., 2009] (vgl. Abbildung 4 und 6).

Durch diesen Prozess wird ein Teil des organischen Kohlenstoffs in den tiefen Ozean verbracht, bis die Wassermassen wieder die Oberfläche erreichen. Die biologische Produktion im Ozean wirkt somit als Transportmechanismus, der jährlich 11 Gt C aus der Deckschicht (und damit der Atmosphäre) in den tiefen Ozean überführt [Körtzinger, 2010]. Dieser Teil der biologischen Pumpe wird organische Kohlenstoffpumpe („soft tissue pump“) genannt (vgl. Abbildung 5).

Der zweite Teil der biologischen Pumpe, die anorganische Kohlenstoffpumpe (Calciumcarbonat-Pumpe; Alkalinitätspumpe; „hard tissue pump“) verläuft in gegensätzliche Richtung und beruht auf den Lösungs- und Ausfällungsprozessen des partikulären anorganischen Kohlenstoffs (Calciumcarbonat) im Ozean (vgl. Gl. 6). Biogener Kalk kann durch viele verschiedene marine Primärproduzenten im Oberflächenozean gebildet werden und erfährt vertikalen Export in der Wassersäule [Schuster *et al.*, 2009]. Durch die Calciumcarbonatproduktion wird netto gelöstes CO₂ aus dem Oberflächenwasser entfernt und in die Tiefe exportiert, was einen großen Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf (DIC und TA) hat [Steinhoff, 2010]. Dennoch kommt die anorganische C-Pumpe einem gegensätzlichen atmosphärischen CO₂-Effekt der organischen C-Pumpe gleich [Körtzinger, 2010]: Bei der organischen C-Pumpe wird anorganischer Kohlenstoff aus dem Meerwasser für die Primärproduktion entzogen, was zur Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre führt (vgl. Abbildung 5), wohingegen die biogene Abscheidung von Kalk eine Freisetzung von CO₂ im Meerwasser bewirkt [Körtzinger, 2010].

Weitere Komponenten der biologischen Pumpe sind das passive Absinken des POC adsorbiert an Calciumcarbonat (Ballastmaterial) und die aktive vertikale Migration des Zooplanktons [Ducklow *et al.*, 2001].

Auf langen Zeitskalen, in der Größenordnung von ein- bis zehntausenden von Jahren sind die wichtigsten marinen Prozesse, die Einfluss auf den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre haben, die Erhaltung und Auflösung von Calciumcarbonat (biologische anorganische C-Pumpe) zusammen mit der Witterungsrate und dem Transport von Hydrogencarbonat zum Meer [Emerson *et al.*, 2008].

Auf kürzeren Zeitskalen von hunderten bis tausend Jahren sind bedeutende Prozesse die thermodynamische Temperaturabhängigkeit der CO₂-Löslichkeit im Meerwasser (solubility pump, physikalische Pumpe, Löslichkeitspumpe) und das Zusammenspiel zwischen der Rate der Ozeanzirkulation und der Rate des biologischen Kohlenstoffexports aus der euphotischen Zone in die tieferen Reservoirs des Weltozeans durch sinkendes partikuläres Material (biologische organische C-Pumpe) [Emerson *et al.*, 2008]. Die marine biologische Kohlenstoffpumpe entspricht daher dem Export von atmosphärischem CO₂ in den tiefen Ozean [Emerson *et al.*, 2008]. DOC spielt eine bedeutende Rolle in der Biogeochemie des marinen Kohlenstoffkreislaufs und kann durch den DOC-Export aus dem Oberflächenwasser in den tiefen Ozean zur biologischen Pumpe beitragen. Dies geschieht aufgrund der Akkumulation in der

euphotischen Zone, aufgrund der Wind bedingten Oberflächenströmungen und dem resultierenden Transport des DOC von niedrigen zu hohen Breitengraden und aufgrund der dortigen Zirkulation der Wassersäule und der Ventilation des Ozeaninneren, wodurch DOC zur langfristigen Kohlenstoffablagerung im Tiefenozean beiträgt [Amon *et al.*, 2003, Carlson *et al.*, 2010, Carlson *et al.*, 1994, Copin-Montégut *et al.*, 1993, Hansell *et al.*, 2009, Hansell *et al.*, 2001a, Hansell *et al.*, 2002, Kähler *et al.*, 2001, Sohrin *et al.*, 2005].

2.3 Der Nordatlantische Ozean

Die Probenahme, der im Rahmen dieser Arbeit genommenen Wasserproben, erfolgte im Nordatlantik, im Gebiet zwischen 43 °N und 56 °N und innerhalb von 10 °W und 55 °W. In diesem Gebiet wird der Nordatlantik nach *Tchernia* [1980] in vier Becken unterteilt: West-Europäisches, Iberisches, Nord-Amerikanisches und Labrador-Becken (vgl. Abbildung 7).

Das Wasser des Nordatlantiks wird durch den Mittelatlantischen Rücken, der bei etwa 27 °W bis 30 °W verläuft, in ein westliches (WNACW, Western North Atlantic Central Water) und ein östliches nordatlantisches Zentralwasser (ENACW, Eastern North Atlantic Central Water) geteilt [Emery *et al.*, 1986]. Die beiden Wassermassen unterscheiden sich in ihren biologischen und physikalischen Eigenschaften voneinander [Longhurst, 1998].

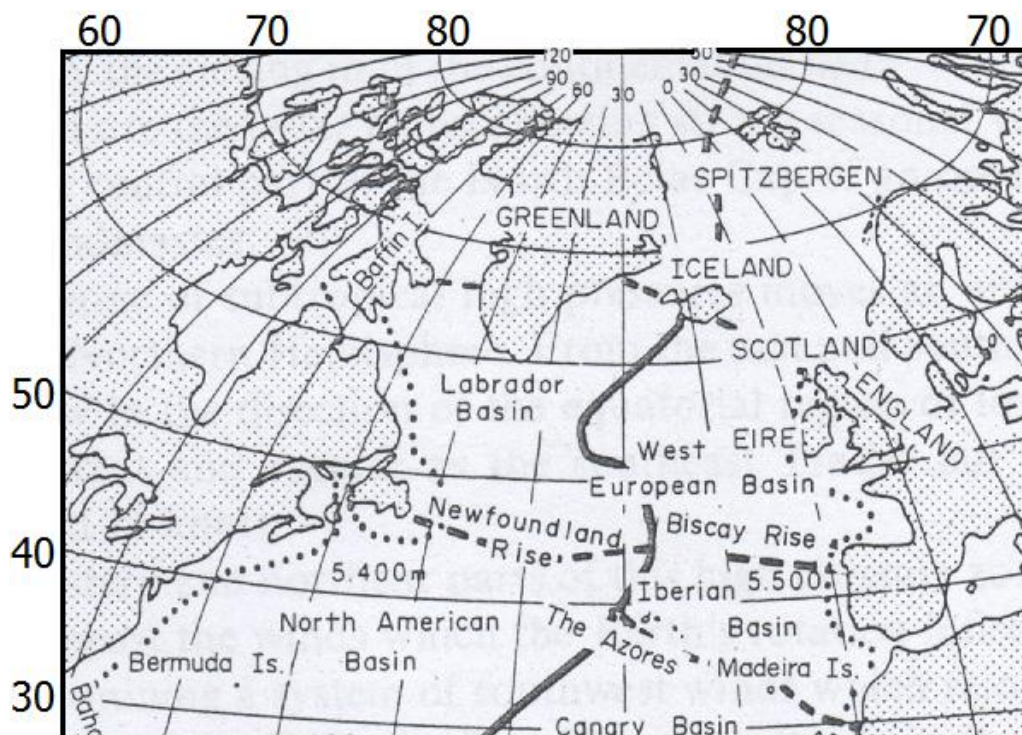


Abb. 7: Einteilung des Nordatlantiks. — Mittelatlantischer Rücken - - - laterale Anstiege
 Kontinentalschelf. Mit Veränderungen nach [Tchernia, 1980].

Der Nordatlantik repräsentiert das Musterbeispiel der klassischen biologischen Pumpe. Viele der gemäßigten und subpolaren Regionen des Nordatlantiks sind durch die frühjährliche Phytoplanktonblüte, begleitet von der Erschöpfung der Nährstoffbestände (deutliche Abnahme von anorganischem Kohlenstoff in der Wassersäule) und der saisonalen Ablagerung von sedimentierendem POM auf dem Meeresgrund charakterisiert [Billet *et al.*, 1983, Deuser, 1986, Ducklow *et al.*, 1995, Lampit, 1985].

Im klassischen Model von saisonalen Kreisläufen mariner biogeochemischer Prozesse ist die Abnahme des CO₂ im Oberflächenozean (DIC), ausgeglichen durch die Akkumulation von biogenem Kohlenstoff (Biomasse) und den Partikelexport [Ducklow *et al.*, 1995]. Im Nordatlantik jedoch kann das Kohlenstoffbudget nicht mit den Elementen des klassischen Modells geschlossen werden, so dass dieses ersetzt werden muss durch ein Model, in dem die Akkumulation und der Export von DOC eine Hauptrolle in dem Kohlenstoffhaushalt des Nordatlantiks übernehmen [Ducklow *et al.*, 1995].

2.3.1 Biogeochemische Provinzen

Nach Longhurst [1998] erfolgt eine Einteilung des Nordatlantiks in biogeochemische Provinzen. Die Fahrten liegen im Bereich des NADR (North Atlantic Drift), des GFST (Gulf Stream), des NECS (Northeast Atlantic Continental Shelf) und des NWCS (Northwest Atlantic Continental Shelf), wobei der größte Teil der Daten in der NADR und NWCS Provinz liegt (vgl. Abbildung 12), so dass diese im Folgenden näher beschrieben werden.

2.3.1.1 NWCS

Die NWCS-Provinz umfasst das Kontinentalschelf von Florida bis Grand Banks (Neufundland), wobei der hier zu betrachtende Teil das Schelf von Neufundland darstellt.

Im Winter liegt eine vollständige Durchmischung der Wassersäule über dem Schelf vor und diese ist teilweise durch Eis bedeckt. Im Sommer dagegen findet eine Schichtung statt, in den Bereichen, wo das Flachwasser nicht durch die Gezeiten vollständig durchmischt wird [Longhurst, 1998].

Die Zirkulation der vielen unterschiedlichen Wassermassen ist extrem dynamisch und variabel. Sie wird neben den Gezeiten und den Oberflächenströmungen vor allem durch lokale Küstenwinde beeinflusst [Tchernia, 1980]. Die Charakteristik der Wassermassen variiert folglich mit der Saison und dem Ort und weist Temperaturen von ca. 5 °C im Winter und ca. 18 °C im Sommer auf, die Salinität liegt in einem Bereich von 32 - 34 [Tchernia, 1980].

Die pelagiale Ökologie des NWCS wird im Wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt: Das Zusammentreffen und das partielle Mischen von Wassermassen unterschiedlicher Charak-

teristika, die Aufteilung des Gebietes in geschichtete und durchmischte Bereiche im Sommer und die Bildung von Eis im Winter [Longhurst, 1998].

Der saisonale Zyklus auf dem Schelf von Grand Banks zeichnet sich aus, durch einen Anstieg in den Primärproduktionsraten im späten Winter, begleitet durch eine starke Chlorophyll-Akkumulation in den ersten darauf folgenden Monaten, durch eine daraus resultierende starke Frühjahrsblüte, durch eine schwache Herbstblüte und ein Copepoden (Ruderfußkrebs)-Maximum im Spätsommer, wodurch die Chlorophyll-Akkumulation umgekehrt wird (erhöhter Verbrauch durch die steigende pflanzenfressende Population) [Longhurst, 1998].

An der Schelfkante von Grand Banks liegt, aufgrund von Nährstoffeinträgen auf das Schelf und von Bioakkumulation durch vertikale Transportmechanismen aus der Tiefe, eine erhöhte Produktivität vor [Longhurst, 1998].

2.3.1.2 NADR

Die NADR-Provinz ist durch eine langsame östliche Drift des Oberflächenwassers aufgrund des Einflusses von westlichen und südwestlichen Winden charakterisiert [Longhurst, 1998, Tchernia, 1980].

Darüber hinaus ist die Saisonalität in der Tiefe der durchmischten Deckschicht (MLD) entscheidend für die Biologie der Provinz. Diese wird dominiert durch die saisonale Abfolge von winterlicher Tiefendurchmischung und frühjährlicher Schichtung [Longhurst, 1998]. Im Herbst führen hohe lokale Windgeschwindigkeiten und ein schneller Wärmeverlust zu einer signifikanten Vertiefung der durchmischten Deckschicht [Longhurst, 1998]. Zur Mitte des Winters fällt die Pyknokline von 300 m im zentralen Ozean auf über 500 m entlang des europäischen Kontinentalabhangs ab [Longhurst, 1998]. Eine tiefe winterliche Durchmischung findet demnach im östlichen Teil der NADR statt. Im Frühjahr führen der nachlassende Windeinfluss und die erhöhte Sonneneinstrahlung zu einer Abflachung der MLD. Eine frühe frühjährliche Nah-Oberflächenschichtung lässt sich beobachten, wie auch ein Impuls zur Produktion von März bis Mai, welcher schnell nährstofflimitiert ist [Longhurst, 1998].

Im östlichen Teil der Provinz spielt die winterliche Konvektion eine bedeutende Rolle [Emery *et al.*, 1986], da sie in den hohen Breiten ($> 40^\circ\text{N}$) stark in die Tiefe reicht und entscheidend für die Nährstoffzufuhr des Oberflächenozeans ist [Cianca *et al.*, 2007]. In den Frühjahrsmonaten bilden die erhöhten Nährstoffkonzentrationen in Kombination mit den guten Lichtbedingungen optimale Bedingungen für eine starke frühjährliche Phytoplanktonblüte [Cianca *et al.*, 2007, Yoder *et al.*, 2003]. Im Sommer verhindert die starke Schichtung eine Nährstoffzufuhr aus der Tiefe, so dass das Phytoplanktonwachstum gestoppt wird [Steinhoff, 2010].

Die Oberflächen-Chlorophyllfelder zeigen von März bis Juni einen saisonalen Shift von höheren Werten in Richtung Norden. Der Westen der NADR zeichnet sich im Sommer allgemein durch höhere Oberflächen-Chlorophyllwerte aus, im Vergleich zu den niedrigeren Werten im östlichen Teil der Provinz [Longhurst, 1998].

Im westliche Teil dieser Provinz liegt eine starke Schichtung der Wassersäule vor, was vor allem in den Sommermonaten einen Nährstofftransport aus dem tiefen Ozean in das Oberflächenwasser verhindert und eine Durchmischung der Wassermassen durch Eddies und Wind umso bedeutender werden lässt [Lüger *et al.*, 2004].

Die regionale Ökologie zeichnet sich folglich durch drei saisonale Phasen aus: (i) Der Start der Frühjahrsblüte liegt Mitte bis Ende April und es kommt zur Ausbildung der ersten „Blüten-Flecken“, welche mit der anfänglichen Schichtung verbunden sind. (ii) Der Übergang zur sommerlichen Oligotrophie liegt Ende Juni und zeichnet sich durch eine sehr lückenhafte Verteilung des Oberflächen-Chlorophylls aus. (iii) Die Spätsommersituation (Ende August bis September) weist ein Chlorophyllmaximum in der saisonalen Pyknokline auf und im Norden kommt es zu einer Cocolithophorenblüte [Longhurst, 1998].

2.3.2 Oberflächenströmungen

Die im Rahmen dieser Arbeit erfolgten Fahrten mit der M/V Atlantic Companion liegen im Bereich der zyklonalen Zirkulation des Nordatlantiks. Diese liegt vor allem zwischen 40 °N und 50 °N und umfasst die subpolare Region der nördlichen Hemisphäre.

Die zyklonale Zirkulation wird im Westen durch den Labradorstrom (LC) und im Süden durch den nordöstlichen Zweig des Nordatlantischen Stroms (NAD, North Atlantic Drift; auch NAC, North Atlantic Current) begrenzt. Der südöstliche Zweig des NAD stellt zugleich den nördlichen Teil der antizyklonalen Zirkulation im Nordatlantik dar (vgl. Abbildung 8).

Der westliche Teil des Nordatlantiks wird vom Golfstrom (GS) dominiert, welcher bei ca. 40 bis 45 °W in den in nordöstliche Richtung fließenden NAD über geht und ein Teil rezirkuliert in den subtropischen Wirbel (NAST, North Atlantic Subtropical Gyre) (vgl. Abbildung 8) [Longhurst, 1998]. An der Nordwestgrenze des untersuchten Gebietes wird durch den LC nährstoffreiches Wasser in die NWCS und die westliche NADR eingebracht (vgl. Abbildung 8) [Steinhoff, 2010].

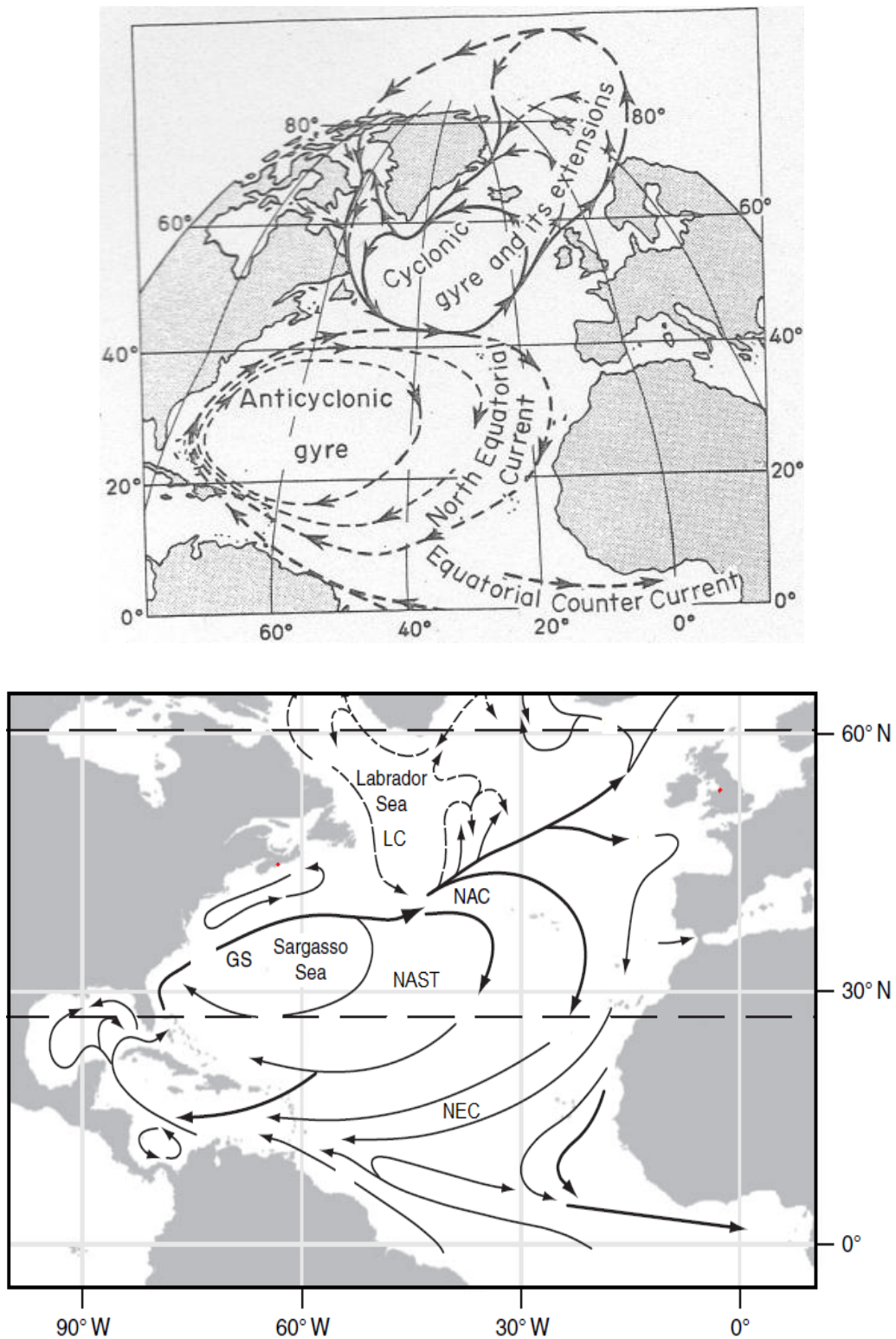


Abb. 8: Oberflächenströmungen im Nordatlantik.
 Oben: Zyklonale und antizyklonale Zirkulation [Tchernia, 1980].
 Unten: Abkürzungen: Nordatlantischer Strom (north atlantic current, NAC), Golfstrom (GS), subtropischer Wirbel (North Atlantic Subtropical Gyre, NAST), Labradorstrom (Labrador current, LC). - - - kalte Strömung; — warme Strömung. Mit Veränderungen nach [Emerson et al., 2008].

2.3.2.1 Das Golfstromsystem

Der GS als westlicher Teil des antizyklonalen Wirbels im Nordatlantik, hat seinen Ursprung in der Florida Meeresstraße und verläuft nordwärts entlang der US-Küste bis zur Kante des Kontinentalschelfs am Kap Hatteras, von wo aus der Strom in nordöstliche Richtung, von der Küste separiert, weiter fließt [Longhurst, 1998, Tchernia, 1980]. Wenn der GS die Küste verlassen hat, verhält er sich wie ein freier träger Strom, bis er das Schelf von Neufundland (Grand Banks) erreicht, um welches er als „Golfstrom Ausläufer“ herum fließt und schließlich eine zunehmende Teilung in drei Regime: (i) Wasser, das kontinuierlich südöstlich in die Rezirkulation des antizyklonalen Wirbels fließt, (ii) in den Azoren Strom, und (iii) in den NAC erfährt [Longhurst, 1998, Tomczak et al., 1994].

Im Winter liegen die Temperaturen des Golfstroms bei 10 - 18 °C, wobei die wärmeren Temperaturen die warme Kante zur Sargasso See darstellen. Im Sommer wird der thermale Gradient innerhalb des GS auf 13 - 21 °C über die kalte Wand des Stromes (küstenzugewandt) erhöht, aufgrund der Bildung einer wärmeren, flacher durchmischten Schicht über dem Schelf [Longhurst, 1998].

Im Winter hat die GS-Region den stärksten horizontalen Temperaturgradienten im Oberflächenwasser innerhalb des gesamten Ozeans: 18 °C warmes Sargasso See-Wasser und die 300 - 400 km entfernte Packeisbildung im Golf von St. Lawrence [Longhurst, 1998]. Die Salinität des Oberflächen-GS beträgt 36 und die stärksten Strömungsgeschwindigkeiten werden nahe der Oberfläche mit bis zu 5 Knoten bestimmt [Tchernia, 1980]. Der GS weist saisonale Variationen in den Geschwindigkeiten auf mit 5 Knoten von Juli bis August und 4 Knoten im November [Tchernia, 1980]. In der Region des Grand Banks (50 °W) liegt der Transport des GS bei 50 bis 90 Sv [Tomczak et al., 1994].

Die GFST-Provinz ist eine dynamische Region. Aufgrund des turbulenten Charakters und dem Auftreten von lokalen und temporären Phänomenen des Systems ändern sich die Struktur und die Geschwindigkeit des Stroms ständig, wodurch Oberflächenaspekte schwer interpretierbar sind [Tchernia, 1980].

Der freie träge Jet des GS, der in den offenen Ozean läuft, wird entlang des Verlaufs instabil und bildet Schlingen welche letztlich als mesoskalige Eddies an den Kanten des Stroms separiert werden [Tomczak et al., 1994]. Bei den Eddies handelt es sich um Wasser, das isoliert ist vom umgebenden Ozean und das entweder polwärts des Jets separiert wird und antizyklonale, warmkernige Ringe (Oberfläche erhöht, Einschluss von warmen Sargasso See-Wasser) bildet, oder dessen Abtrennung auf der äquatorzugewandten Seite des Stroms erfolgt und das zyklonale, kaltkernige Ringe (abgesenkte Oberfläche, Einschluss von kaltem Küstenwasser) formt (vgl. Abbildung 9) [Longhurst, 1998, Tomczak et al., 1994].

Die meisten der GS-Ringe werden in der GS-Ausläufer Region gebildet, sie bewegen sich langsam in entgegengesetzte Richtung zum GS [Tomczak *et al.*, 1994] und sind sehr langlebig (6 Monate bis zu 1 Jahr) [Longhurst, 1998].

Die „Taschen von warmen Wasser“ [Tchernia, 1980], die an der nördlichen Kante des GS gebildet werden, sind in ihrer Bewegung begrenzt, sie gelangen in das Schelfwasser des NWCS und verschmelzen teilweise mit dem Hauptstrom [Tomczak *et al.*, 1994].

Das Oberflächen-Chlorophyllfeld des Nordwestatlantiks wird dominiert durch frühjährliche Algenblüten, welche im Eddy-Feld des GS bis zum Mittelatlantischen Rücken auftreten und welche kontinuierlich von Frühjahr bis Herbst sind, im Vergleich zum östlichen Nordatlantik, wo weniger Eddies auftreten [Longhurst, 1998].

Die antizyklonalen Ringe zeigen eine Primärproduktionsrate, welche um den Faktor 1,7 höher ist, als im umgebenden Wasser [Longhurst, 1998, Tchernia, 1980]. Dies lässt sich durch den Auftrieb innerhalb der Eddies erklären, wodurch die Nitrakline und das Pigmentmaximum angehoben werden [Longhurst, 1998]. Das Resultat ist eine ungleichmäßige, lückenhafte Verteilung von Chlorophyll in der durchmischten Deckschicht aufgrund der Verteilung der Eddies und Schleifen [Lohrenz *et al.*, 1993].

Die Primärproduktion in der GS-Region ist minimal im Spätsommer, steigt mit der Vertiefung der durchmischten Deckschicht im Herbst und erreicht ein scharfes nährstofflimitiertes Maximum im Frühjahr (April, Mai) und weiterhin ist die Chlorophyll Saisonalität im GS schwach und variabel [Longhurst, 1998].

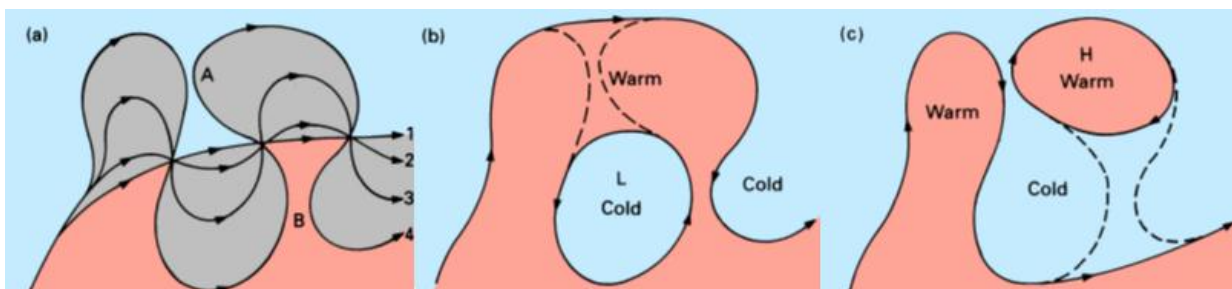


Abb. 9: Das Konzept der Eddy-Bildung in einem freien trägen Jet der nördlichen Hemisphäre und die assoziierte hydrographische Struktur. (a) Wege des Jets an aufeinander folgenden Zeiten 1 - 4. (b) Bildung eines zyklonalen (kalt-kernigen) Rings nach dem Zusammenschluss in Position A. Die äußere Linie gibt den Verlauf des GS nach der Ringbildung wieder, die gestrichelte Linie ist der Verlauf unmittelbar vor dem Ringschluss. (c) Bildung eines antizyklonalen (warm-kernigen) Ringes, wenn der Strom einen Zusammenschluss in Position B erfährt. H und L stehen für Hochdruck und Niederdruck [Richardson, 1983b].

2.3.2.2 Labradorstrom

Der LC stammt aus dem östlichen Grönlandstrom [Tomczak *et al.*, 1994] und transportiert arktisches Wasser mit niedriger Salinität südwärts entlang des Kontinentalschelfs und dem Abhang von Labrador (vgl. Abbildung 10) [Longhurst, 1998]. Im Westen schließt der LC den zyklonalen, subpolaren Wirbel und schließt sich östlich von Grand Banks wieder dem NAD an

[*Tchernia*, 1980]. Man unterscheidet bei dem LC zwischen der küstennahen Komponente und dem Teil, der der offenen See zugewandt ist. Die küstennahe Komponente verläuft entlang dem Avalon Kanal abseits der Ostküste von Neufundland und trägt zur Schelfwasserbildung auf Grand Banks bei [*Longhurst*, 1998]. Der „offshore“ Teil des LC passiert den Kontinentalabhang von Grand Banks und trägt zum Slope-Wasser zwischen dem Golfstrom und dem Kontinentalschelf bei [*Longhurst*, 1998]. Das LC-Wasser ist charakterisiert durch Temperaturen unterhalb von 4°C und Salinitäten im Bereich von 34,2 bis 34,95 [*Hinrichsen et al.*, 1993]. Am stärksten ist der LC im Februar, wo er durchschnittlich bis zu 6 Sv mehr trägt, als im August und die Variabilität ist ebenfalls im Winter größer [*Tomczak et al.*, 1994].

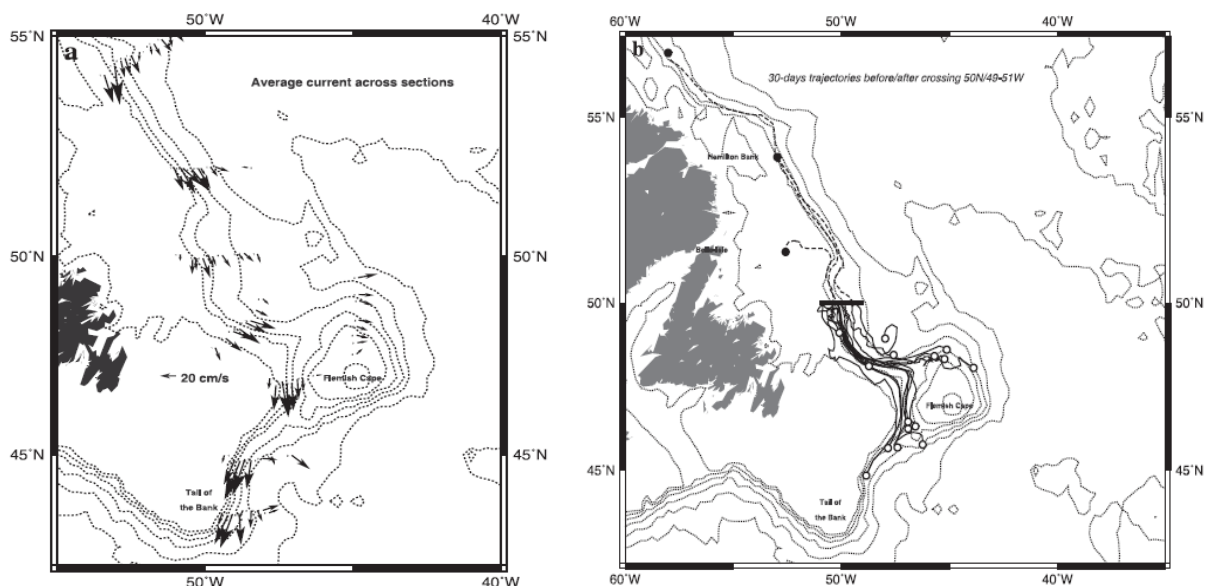


Abb. 10: Der Labradorstrom. Links: durchschnittlicher Strom; Rechts: 30 Tage-Trajektorien von Driftern, vor und nach dem Durchqueren des Labradorstroms bei 50 °N [*Reverdin et al.*, 2003].

2.3.2.3 NAD

Östlich der Südspitze von Grand Banks verliert die NAST-Zirkulationsbewegung allmählich ihre wohldefinierte Erscheinung, ist weniger zusammenhängend und der GS-Ausläufer teilt sich nach dem Überqueren des Mittelatlantischen Rückens (30 °N) in zwei Zweige: einer verläuft in südöstliche Richtung um die antizyklonale Rotation zu schließen (Azorenstrom) und der Andere in nordöstliche Richtung laufend, welcher der Hauptbestandteil des östlichen Teils des zyklonalen Wirbels ist (NAD) [*Tchernia*, 1980]. Der NAD ist eine langsame, diffuse Zirkulation, vollständig unterschiedlich zu der konzentrierten und schnellen Zirkulation im Westen [*Tchernia*, 1980]. Ausläufer des NAD erstrecken sich bis in den Ärmelkanal [*Tchernia*, 1980].

3 Material und Methode

3.1 Probenahme an Bord der M/V Atlantic Companion

Die M/V Atlantic Companion ist ein RoRo-Containerschiff unter schwedischer Flagge, welches von der Atlantic Container Lines (ACL) Reederei betrieben wird. Die ACL unterhält einen Containerdienst zwischen Europa und der nordamerikanischen Ostküste (USA / Kanada) und die Transatlantikroute der ACL-Schiffe verläuft zwischen Liverpool, Großbritannien und Halifax, Kanada. Eine Überquerung dauert sechs bis acht Tage bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 17 Knoten. Bei der M/V Atlantic Companion handelt es sich um ein VOS (volunteer observing ship). Im Maschinenraum des Schiffes ist ein eigenständiges System zur kontinuierlichen Messung des $p\text{CO}_2$ im Oberflächenwasser des Atlantiks installiert (vgl. Abbildung 11 und [Lüger *et al.*, 2004]), welches durch Dr. Tobias Steinhoff (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel) betreut wird.



Abb. 11: Eigenständiges System zur kontinuierlichen Messung des $p\text{CO}_2$ im Oberflächenwasser des Atlantiks im Maschinenraum der M/V Atlantic Companion mit der Probenentnahmestelle für die diskreten Seewasserproben.

Im Rahmen des von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projektes Carbochange (Changes in Carbon Uptake and Emissions by Oceans in a Changing Climate, März 2011 - Februar 2015) und der Kooperation zwischen ACL und dem GEOMAR, ist es möglich, dass in regelmäßigen Abständen von etwa sechs Wochen ein Wissenschaftler an der Atlantiküberquerung der Atlantic Companion teilnimmt. Während einer solchen Fahrt werden zwischen 10 °W und 55 °W alle drei Stunden (zwischen 07:00 Uhr und 22:00 Uhr, aktuelle Schiffszeit) diskrete Oberflächen-Seewasserproben mit Hilfe einer fest installierten Durchflussspumpe und einem isolierten Rohr im „sea chest“ (Meerwasser-Zwischenspeichertank über den Ballastmeerwasser aufgenommen wird) auf der hinteren Backbordseite im Maschinenraum des Schiffes genommen [Steinhoff *et al.*, 2010]. Die Probenahme erfolgt, je nach Tiefgang des Schiffes, bei durchschnittlich 7 m Tiefe.

Es handelt sich in der Regel um die folgenden Parameter für die Proben genommen werden: TOC / TN (Total nitrogen, gesamter Stickstoff), POC / PON, Nährstoffe (Nitrat, Nitrit, Phosphat, Silicat), DIC und Chlorophyll. Die Seewasserprobenahme erfolgt nach folgendem Zeitraster: 7:00, (10:00), 13:00, (16:00), 19:00, 22:00 Uhr. Bei den Uhrzeiten in Klammern erfolgt nur eine Nährstoffprobenahme. Zweimal täglich werden TOC- und Nährstoff-Doppelproben genommen, um die Reproduzierbarkeit der Messungen bestimmen zu können. Weiterhin werden während der Transatlantikfahrten fortlaufend Temperatur- (SST, sea surface temperature) und Salinitätsdaten (SSS, sea surface salinity) des Oberflächenwassers mit einem externen Seabird-Thermosalinographen (SBE21, Seabird Electronics Inc., Seattle, Washington) und -Temperatursensor (SBE38, Seabird Electronics Inc., Seattle, Washington) erfasst.

Die diskreten Proben werden nach der Probenahme konserviert und im Labor des GEOMAR analysiert. Die Analyse der Nährstoffproben erfolgt nach der Methode von [Hansen *et al.*, 1999]. Die Genauigkeit in der Nitratbestimmung beträgt $\pm 2 \%$ im Bereich von 0 - 22 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Chlorophyll *a* wird mit Hilfe der spektrophotometrischen Methode nach [Jeffrey *et al.*, 1975] mit einer geschätzten Genauigkeit von $\pm 3 \%$ bestimmt. Die DIC-Proben werden zur Konservierung unmittelbar nach der Probenahme mit 100 μL gesättigter Quecksilberchloridlösung vergiftet und an Land auf der Grundlage der Methode von [Johnson *et al.*, 1999] mit einem SOMMA-System analysiert.

Die Probenahme der im Rahmen dieser Arbeit gemessenen Proben erfolgte während der M/V Atlantic Companion Fahrten COM 11-17, COM 11-20, COM 12-03, COM 12-05, COM 12-08, COM 12-11, COM 12-14 und COM 12-17. Eine Beschreibung der Fahrten findet sich in Tabelle 2. Die Fahrtrouten und die Lage der TOC-Probenahmen sind in Abbildung 12 veranschaulicht. Die Navigationsdaten (UTC-Zeit und Position) wurden mit einem GPS-Empfänger auf der Brücke des Schiffes registriert.

Tabelle 2: Beschreibung der M/V Atlantic Companion Fahrten, auf denen diskrete Proben für diese Arbeit genommen wurden. Angabe der Anzahl an Proben und der jeweiligen Probenden.

| Fahrt Nummer | Zeitraum | Datum der Probenahme | Anzahl TOC | Anzahl POC/ Chl | Probenahme durch |
|--------------|----------|----------------------|------------|-----------------|------------------|
| COM 11-17 | Okt 11 | 18.10. – 22.10. | 23 | 14 | Tobias |
| COM 11-20 | Dez 11 | 07.12. – 12.12. | 25 | 15 | Mirja |
| COM 12-03 | Feb 12 | 10.02. – 15.02. | 19 | 19 | Damian |
| COM 12-05 | Mrz 12 | 17.03. – 21.03. | 25 | 18 | Tobias |
| COM 12-08 | Mai 12 | 09.05. – 15.05. | 25 | 19 | Mirja |
| COM 12-11 | Jun 12 | 29.06. – 03.07. | 22 | 16 | Meike |
| COM 12-14 | Aug 12 | 22.08. – 23.08. | 4 | 4 | Damian |
| COM 12-17 | Okt 12 | 11.10. – 15.10. | 30 | 24 | Mirja |

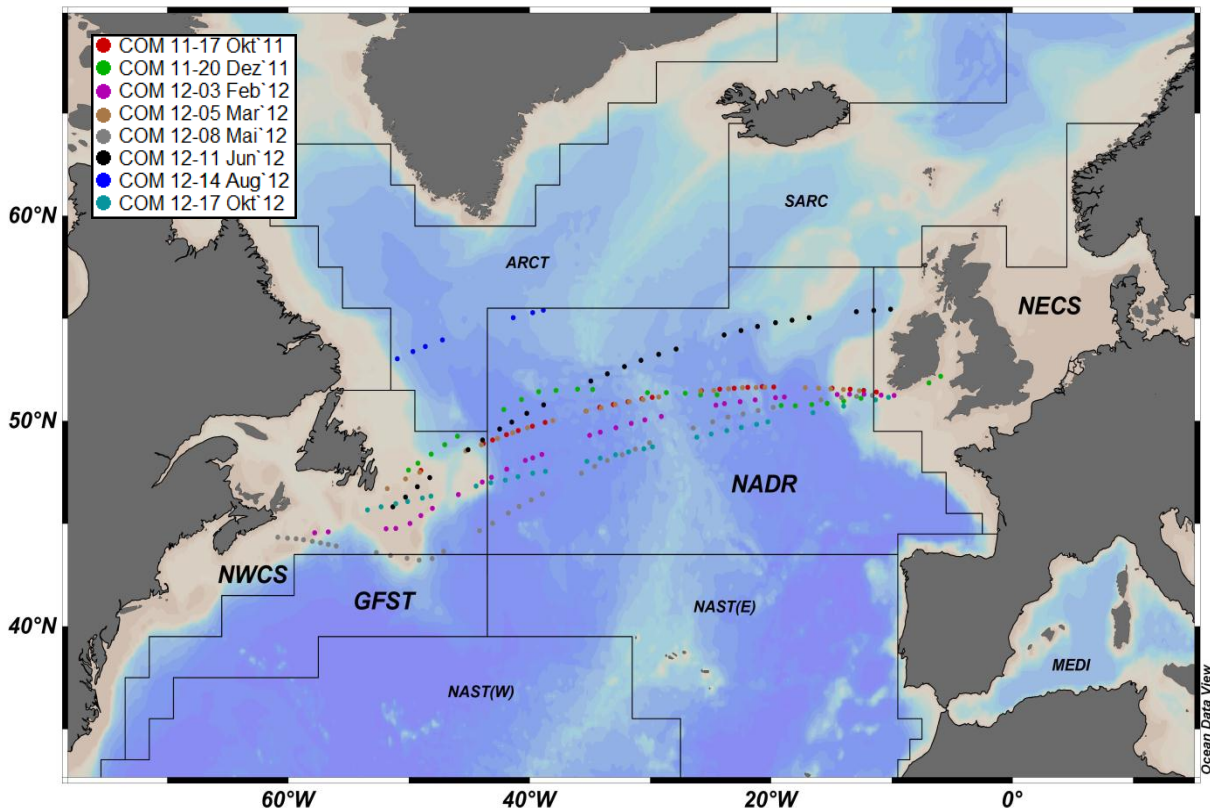


Abb. 12: Karte zur Veranschaulichung der Fahrtrouten und der Lage der Probenahmen der verschiedenen M/V Atlantic Companion Fahrten sowie die Einteilung des Nordatlantiks nach [Longhurst, 1998].

3.2 TOC/TN

3.2.1 Probenahme TOC/TN

Als Probengefäße für die TOC-Bestimmung dienen 24 mL-Glas-Vials, welche mit einem Kunststoffschraubdeckel und einem Teflonseptum verschlossen werden. Eine Kontamination der Meerwasserproben, aus denen organischen Parameter bestimmt werden sollen, durch Hautkontakt (Fette, Aminosäuren u.a.), wie auch durch unzureichende Reinigung der Probengefäße (vgl. Abschnitt 3.2.3.1) muss unbedingt vermieden werden um aussagekräftige Daten zu erhalten. Die Möglichkeiten einer Kontamination durch Abgase und Lösungsmittel-dämpfe (VOC) sind an Bord eines Schiffes immens und nicht quantifizierbar [*Spyres et al.*, 2000], daher sollte die Entnahme der TOC-Proben zügig und möglichst ohne Kontakt der Probengefäße mit dem Zapfschlauch erfolgen. Das Wasser sollte frei in das Probengefäß laufen und dieses schnellstmöglich verschlossen werden.

3.2.2 Probenlagerung TOC/TN

Unmittelbar nach der Probenahme erfolgt eine Probenkonservierung bis zur Messung im Labor an Land. Hierfür gibt es generell mehrere Möglichkeiten, wie z.B. das schnelle Einfrieren der Proben unmittelbar nach der Probenahme oder das Ansäuern der Probe mit Salzsäure auf $\text{pH} = 2 - 3$ mit anschließender Lagerung bei Raumtemperatur und Lichtausschluss. Eine weitere Möglichkeit stellt die Vergiftung der Proben mit Quecksilberchlorid (HgCl_2) dar, um die bakterielle Zersetzung des organischen Materials zu CO_2 zu verhindern. HgCl_2 eignet sich für die TOC-Proben jedoch nicht, da dieses vermutlich die Katalysatoraktivität des Messgerätes herabsetzt [*Wangersky*, 1993]. Die Methode der Wahl für die TOC-Proben ist das Einfrieren der Proben bei -18°C und die Lagerung bei selbiger Temperatur bis zur Messung. *Tupas et al.* [1994] haben gezeigt, dass es keine größeren Abweichungen in den Messergebnissen gibt, wenn man die Proben zur Konservierung einfriert im Vergleich zur Messung unmittelbar nach der Probenahme.

3.2.3 Analytische Arbeit: Bestimmung von TOC und TN

3.2.3.1 Reinigung der Glasgeräte TOC

Die Glas-Vials werden, wie alle Glasgeräte, die für die Messungen verwendet werden, im Labor zunächst über Nacht in eine 2%ige DECON-90®-Lösung gelegt. Anschließend werden die Geräte gründlich mit Milli-Q-Wasser gespült und wiederum über Nacht in eine 10%ige Salzsäure gelegt. Nachfolgend wird erneut gründlich mit Milli-Q-Wasser gespült. Die Glas-Vials werden in Aluminiumfolie eingepackt und für etwa fünf Stunden im Röhrenofen bei 450°C ausgeglüht. Die Alufolie dient weiterhin der Vermeidung von Kontamination der Probengefäße während des Transports. Messkolben und Kunststoffgeräte werden feucht in Polypropylen-Tüten luftdicht verpackt.

3.2.3.2 Messprinzip: TOC und DOC

Die HTCO-Methode von *Sharp* [1973] liefert höhere Oxidationsausbeuten und eine hohe Genauigkeit (ca. $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) [*Dafner et al.*, 2002a] im Vergleich zu den herkömmlichen Oxidationsverfahren, beruht jedoch auf dem gleichen Prinzip wie die voran gegangene Photooxidation mit UV-Licht [*Collins et al.*, 1977] und die nasschemischen Analysen des DOM-Pools, wie beispielsweise die Oxidation durch Persulfat [*Menzel et al.*, 1964]: Nach dem der DIC aus der Probe entfernt wurde, wird der organische Kohlenstoff quantitativ an einem Platinkatalysator in CO_2 überführt und detektiert. Die DIC-Konzentration ist um das 25- bis 50fache höher, als der DOC-Gehalt [*Benner et al.*, 1993], so dass die quantitative Extraktion des DIC aus der Probe unverzichtbar ist für eine qualitative DOC-Messung. Die Entfernung des DIC erfolgt durch Ansäuern der Probe auf $\text{pH} = 3 - 4$, wodurch das Carbonat-Equilibrium verschoben wird. Anschließend wird ein CO_2 -freies Gas (N_2) durch die Probe geleitet, wodurch 99,99 % des DIC in Form von gelöstem CO_2 entfernt wird [*Hansell et al.*, 2002]. Die Extraktionszeit sollte allerdings nicht zu lang gewählt werden ($< 10 \text{ min}$ [*Sharp et al.*, 2002]), da andernfalls durch die Säure auch leicht oxidierbare organische Komponenten zu CO_2 umgesetzt werden, was zu einer Unterschätzung des DOC-Gehaltes führt. Außerdem können auch die VOC-Komponenten durch das Trägergas entfernt werden, woraus eine weitere Unterschätzung des DOC-Wertes ($< 5 \%$) folgt [*Hansell et al.*, 2002, *MacKinnon*, 1979].

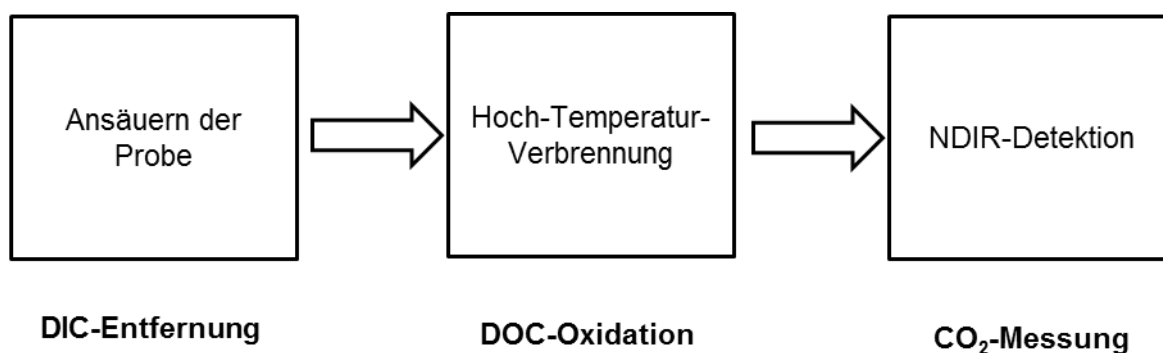


Abb. 13: Schematische Darstellung des Messprinzips der HTCO-Methode.

3.2.3.3 Messprinzip TN

In den meisten Fällen wird TDN rechnerisch ermittelt, indem eine HTCO-Messung von TN (total nitrogen, Gesamtstickstoff) erfolgt und von diesem Messwert der separat ermittelte Anteil des anorganischen Stickstoffs (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) abgezogen wird.

Simultan zu organischem Kohlenstoff (TOC bzw. DOC) kann mit dem zur Verfügung stehenden Gerät auch TN gemessen werden. Der aus dem organischen Material stammende Stickstoff wird bei der Verbrennung im Sauerstoff-Trägergas zu NO-Radikalen umgesetzt (Gl.7) [*Hansell*, 1993]. Die NO-Radikale reagieren wiederum mit dem Ozon, welches in der TN-Einheit des Gerätes erzeugt wird, zu angeregtem Stickstoffdioxid (Gl.8).



Kehren diese angeregten NO_2 -Moleküle in den Grundzustand zurück, so wird Strahlung emittiert (Gl.9). Die emittierte Strahlung $h\nu$ wird detektiert.

3.2.3.4 Analytisches System und Handhabung TOC/TN

Bei dem in dieser Arbeit verwendeten Messgerät zur Bestimmung von TOC und TN handelt es sich um ein TOC- V_{CSN} mit angeschlossener TN-Einheit der Firma Shimadzu, Japan (siehe Abbildung 14). Das System basiert auf der HTCO-Methode und funktioniert vollautomatisch mit einem integrierten Autosampler. Die Herstellerangaben über den Messbereich des TOC- V_{CSN} -Systems liegen bei 0 - 2080 $\mu\text{mol L}^{-1}$ für Kohlenstoff und 0 - 285 $\mu\text{mol L}^{-1}$ für Stickstoff und das Kohlenstoff-Detektionslimit liegt bei etwa 4 $\mu\text{mol L}^{-1}$ [Shimadzu, 2001].

In Abbildung 15 ist ein Flussdiagramm des TOC- V_{CSN} mit angeschlossener TN-Einheit der Firma Shimadzu dargestellt.

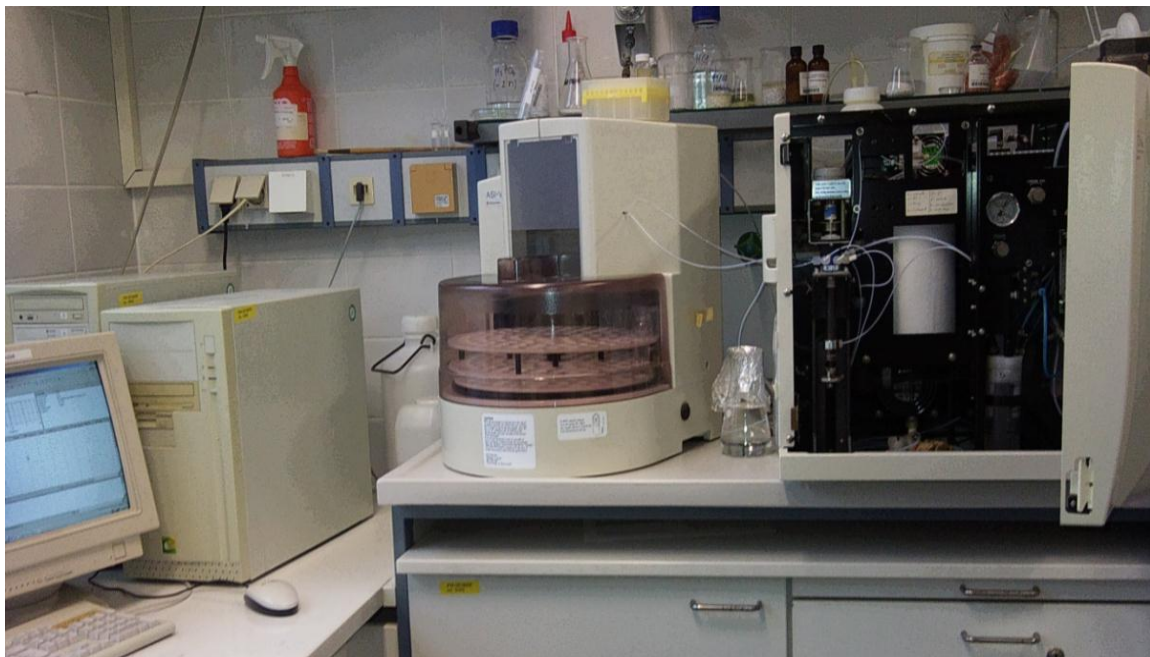


Abb. 14: Das Shimadzu TOC- V_{CSN} im Labor der marinen Biogeochemie, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel.

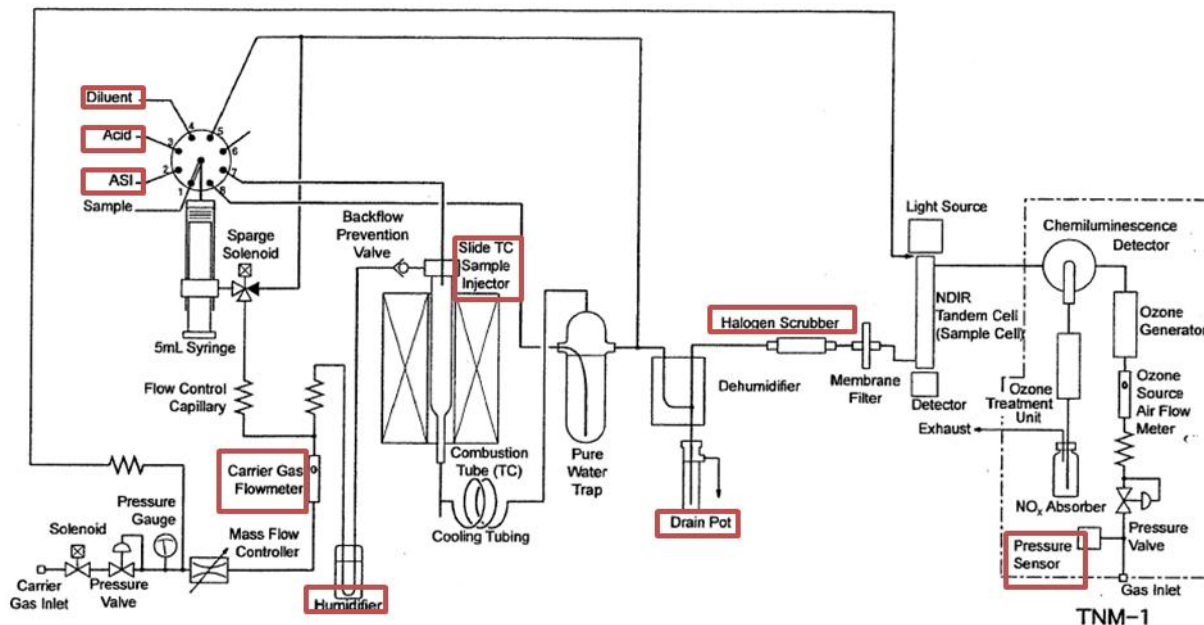


Abb. 15: Flussdiagramm des TOC-V_{CSN} mit angeschlossener TN-Einheit der Firma Shimadzu, Japan [Shimadzu, 2001], die roten Kästen markieren Geräteparameter und -bauteile, die es vor jedem Messtag zu überprüfen gilt.

Die Probe wird über ein 8-Wege-Ventil in eine Spritze gesaugt und dort mit 3 mol L⁻¹ Salzsäure auf einen pH-Wert von drei bis vier angesäuert (Zugabe: 2 %). Daraufhin wird die Probe acht Minuten lang mit einem Spülgas ausgegast („sparge“), um den anorganischen Kohlenstoff quantitativ zu entfernen.

Für die Extraktion des DIC wurde das Gerät zu Beginn dieser Arbeit modifiziert, in dem hochreiner, CO₂-freier Stickstoff hierfür angeschlossen wurde. Diese Modifikation dient lediglich dem wirtschaftlichen Vorteil, denn zuvor wurde für den Ausgasvorgang hochreiner Sauerstoff verwendet, welcher um eine Größenordnung teurer ist, als der entsprechende Stickstoff mit einem ausreichenden Reinheitsgrad.

Als Trägergas dient hochreiner 99,9995%iger Sauerstoff (Spezifikation 5.5), welcher zur Oxidation des organischen Probenmaterials und zum kontinuierlichen Reaktionsprodukt-Transport zu den Detektoren verwendet wird.

Nach erfolgter DIC-Extraktion wird die Probe über das 8-Wege-Ventil zum Injektionsschlitten geführt. Es erfolgt eine direkte Injektion von 150 µL der Probe (geringster Standardfehler der Standard-Regression bei größtmöglichem zu injizierendem Volumen, vgl. [Steinhoff, 2004]) auf den Katalysator im Katalysatorrohr (2 % Pt auf Al₂O₃-Perlen; schematische Abbildung zur Füllung des Katalysatorrohres siehe Abbildung 16), welches sich in dem auf 720 °C geheizten Ofen befindet.

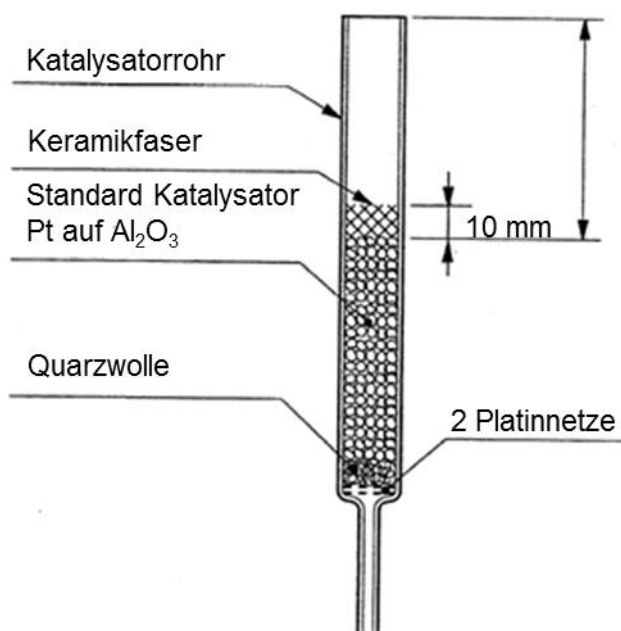


Abb. 16: Befüllung des Katalysatorrohrs im TOC-VCSN der Firma Shimadzu mit Veränderungen nach [Shimadzu, 2001].

Die Probe verdampft unmittelbar unter sprunghaftem Volumenanstieg und der Großteil des Wasserdampfes kondensiert hinter dem Oxidationsrohr. Das Kondenswasser wird mittels eines Peltier-Elements entfernt und der Wasserablaufbehälter des Peltier-Elementes („Drain“) fungiert als Druckausgleich. Die im Gasstrom enthaltenen Halogene, welche aus den Salzen in der Meerwasserprobe freigesetzt werden, werden über einen sogenannten „halogen-scrubber“ entfernt. Dabei findet eine Oxidation an feinen Kupferdrähten statt.

Nachfolgend wird das entstandene CO_2 im NDIR-Detektor (nicht dispersiver Infrarot-Detektor) detektiert und der Gasstrom wird in die TN-Einheit weiter geleitet.

Zur Ozon-Erzeugung wird die hausinterne qualitativ hochwertige Pressluft benutzt, nachdem diese mit Magnesium-Perchlorat getrocknet und durch einen $0,45\ \mu\text{m}$ Partikelfilter geleitet wird. Nach der erfolgten Reaktion der NO-Radikale mit dem Ozon wird die emittierte Strahlung der NO_2 -Moleküle durch den Chemolumineszenz-Detektor registriert. Die vom Gerät automatisch integrierten Peakflächen können an der Computereinheit als Messergebnis abgelesen werden.

Die TOC- bzw. DOC-Konzentrationen werden ermittelt, indem Wiederholungsmessungen jeder einzelnen Probe durchgeführt werden. Es werden zunächst drei Messungen einer Probe durchgeführt. Die Anzahl der Wiederholungsmessungen ist abhängig von der Standardabweichung der ermittelten TOC- bzw. TN-Flächen. Liegt die Standardabweichung nach drei Messungen oberhalb von $0,1$ Flächeneinheiten (FE) (individuell einstellbarer Maximalwert, entspricht ca. $1\ \mu\text{mol L}^{-1}$), wird die Probe erneut in das Verbrennungsrohr injiziert, solange, bis die Standardabweichung $< 0,1$ FE ist. Maximal finden jedoch fünf Injektionen statt und Ausreißer

werden vernachlässigt. Der Mittelwert der Flächen der Wiederholungsmessungen wird von der Computereinheit gebildet und als Ergebnis ausgegeben. Von diesem wird die gemittelte integrierte Fläche des Geräteblanks (Achsenabschnitt der Standardregressionsgeraden) abgezogen. Anschließend wird durch die Steigung der linearen Standardregressionsgeraden dividiert [Carlson *et al.*, 1995]. Die Angabe der Konzentrationen erfolgt in $\mu\text{mol L}^{-1}$.

3.2.3.5 Veränderungen am TOC-VcsN Gerät: halogen-scrubber

Neben dem Umbau der Gaszuleitungen und dem Anschluss einer Stickstoffgasflasche für den sparge-Prozess (vgl. Abschnitt 3.2.3.4), wurden keine größeren Veränderungen am Gerät vorgenommen. Es wurden lediglich selbstgepackte halogen-scrubber, statt der bisher verwendeten fertig gekauften scrubber der Firma HEKAtech, gebraucht. Statt der von der Firma HEKAtech verklebten undurchsichtigen Plastikrohre (vgl. Abbildung 17 C), welche mit Kupferwolle gefüllt sind, kommen nun durchsichtige Quarzrohre mit Schraubgewinden, Oliven, Teflondichtungen und Schraubverschlüssen zum Einsatz. Die Bestückung dieser Rohre erfolgt nach Einwaage, analog zu der Menge an Kupfer, die in den HEKAtech-halogen-scrubbern verwendet wird (vgl. Abbildung 17).

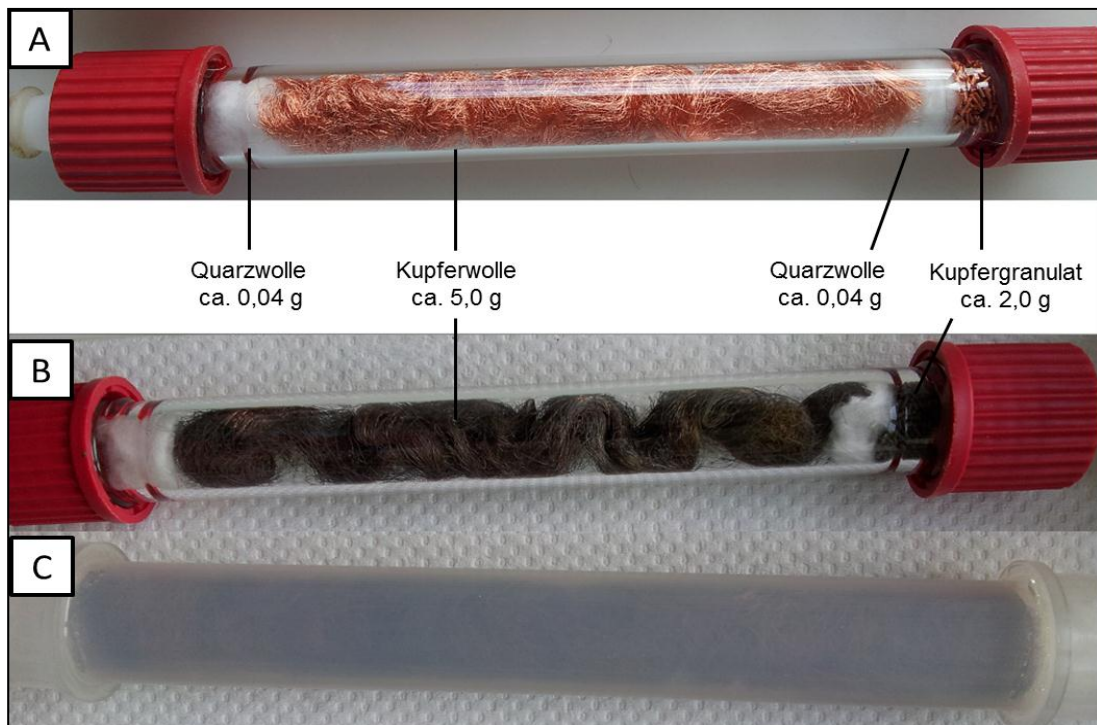


Abb. 17: Bestückung eines selbstgepackten halogen-scrubbers (A, unbenutzt) und Vergleich der visuellen Beurteilbarkeit des halogen-scrubber-Verbrauchs zwischen dem selbstgepackten scrubber (B) und dem gekauften scrubber der Firma HEKAtech (C). Scrubber B und C sind vollständig verbraucht.

Der Vorteil der selbstgepackten halogen-scrubber ist die bessere visuelle Kontrollmöglichkeit des fortschreitenden Kupferverbrauchs. Der ungebrauchte scrubber ist hell rot (blank poliertes Kupfer, vgl. Abbildung 17 A), wohingegen der verbrauchte scrubber durch die statt findenden Oxidationsprozesse, je nach Oxidationszustand, dunkel gefärbt ist (grün, violett, braun, schwarz, vgl. Abbildung 17 B). Sobald die gesamte Kupferfüllung verfärbt ist, erfolgt ein Austausch des scrubber-Rohres. Versuche das Kupfer zu reduzieren um dieses erneut einzusetzen, waren mit den gegebenen Laborbedingungen nicht erfolgreich. Die einzige Möglichkeit stellt hier eine trockene Reduktion mit Wasserstoff bei 500 °C dar (Feuchtigkeit im scrubber würde die Messung empfindlich stören). Hierfür müsste jedoch ein gasdichter Röhrenofen angeschafft werden, dessen Kosten die Anschaffungskosten der Kupferwolle für den relativ geringen Probendurchsatz bei weitem übersteigen würde. Wirtschaftlich gesehen ist die Reduktion der Kupferwolle keine sinnvolle Alternative, zumal der Aufwand und das Risiko zu hoch sind.

3.2.3.6 Handhabung des TOC-VcsN Geräts

Vor Beginn jedes Messtages gilt es ein paar Dinge zu beachten, um Messwerte hoher Güte zu erzielen und die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Messtagen so gut es geht zu gewährleisten. Die zu beachtenden Faktoren sind in Abbildung 15 mit roten Kästen hervorgehoben.

Die Gasversorgungen am Gerät müssen geöffnet sein und es sollte stets bei dem gleichen Gasdurchfluss gemessen werden. Für Sauerstoff wird ein Druck von 180 psi und ein Durchfluss am Flowmeter von 130 mL min^{-1} eingestellt. Der Stickstoff zum Ausgasen wird am Druckminderer-Regelventil auf 0,5 bar geregelt und während des Ausgasprozesses wird ein Durchfluss von 100 mL min^{-1} justiert. Die Druckluftzufuhr der TN-Einheit muss geöffnet sein, so dass die „pressure“-Kontrolllampe der Einheit nicht mehr leuchtet.

Des Weiteren sollten der ASI- und der TOC-Wasserbehälter (je 2 L) stets frisch mit Milli-Q-Wasser gefüllt werden. Auch der Vorratsbehälter der 3 mol L^{-1} Salzsäure zum Ansäuern der Probe und zum Regenerieren des Katalysators sollte mindestens zu $\frac{3}{4}$ gefüllt sein.

Der Milli-Q-Wasserstand des Drain-Gefäßes sollte überprüft und maximal aufgefüllt werden, so dass keine Gasblasen entweichen, sobald ein Gasstrom vorliegt.

Der „Humidifier“ dient dem Befeuchten des Trägergasstroms und sollte unbedingt bis zur „Hi“-Markierung mit Milli-Q-Wasser gefüllt sein. Die geringsten Abweichungen führen schon innerhalb eines Messtages zu Schwankungen in den Messwerten. Diesen Fehler gilt es in weiteren Experimenten zu quantifizieren und durch z.B. den Einbau eines automatischen Auffüllsystems (Schwimmer und Pumpe) entgegen zu wirken. Weiterhin muss der „InjectionSlider“ von eventuellen Salzablagerungen befreit und der Injektionsschlauch derart justiert werden,

dass die Probe senkrecht in das Katalysatorrohr gespritzt wird, ohne die Glaswand des Rohres zu treffen.

Die senkrechte Einspritzung ist von großer Bedeutung, da geringste Abweichungen zu erheblichen Unterschieden in den Messwerten führen (Blankstabilität nicht gegeben). Diese Tatsache lässt sich eventuell erklären durch die Salzablagerungen, welche im Laufe der Messungen an der Glaswand entstehen und an welcher gegebenenfalls organisches Material adsorbiert vorliegen kann. Für die Justierung hat sich die „Regeneration des TOC-Katalysators“-Funktion des Geräts als hilfreich erwiesen.

Die Dichtigkeit der O-Ringdichtung zwischen Injektionsschlittenblock und dem Katalysatorrohr ist unbedingt zu prüfen und regelmäßig zu beobachten, da an dieser Stelle gegebenenfalls die gasförmige Probe entweicht, bevor sie das Oxidationsrohr passiert.

Um Verdunstungseffekten der Probe aufgrund der offenen Vials im Autosampler (Schraubdeckel und Septen werden bei der Bestückung des Probenhalters entfernt) vorzubeugen, wird eine Petrischale mit einem in Milli-Q-Wasser getränkten Papierhandtuch auf den bestückten Probenhalter gestellt. Die gesättigte Atmosphäre im Inneren des Autosamplers verhindert dadurch ein Verdunsten der Proben.

3.2.3.7 Katalysatorchargen und -regeneration TOC

Der Aluminiumoxid geträgerte Platinkatalysator ($\text{Pt} / \text{Al}_2\text{O}_3$) wird allmählich durch die Salzmatrix der Meerwasserproben bedeckt, wodurch die Katalysatorwirksamkeit herabgesetzt wird. Ein regelmäßiger Austausch des Katalysators nach ca. 180 Proben (etwa einmal wöchentlich), ist daher erforderlich.

Im Zuge dieser Arbeit wurden neue Katalysatorchargen der Firma Shimadzu bestellt (Shimadzu platinum catalyst support: 5/64" Alumina Ball 33 g Lot No 120119-01, P/N 638-60116). Dieser erwies sich als länger nutzbar aufgrund der geringeren Kugeldurchmesser der Katalysatorkugeln und der daraus resultierenden größeren reaktiven Oberfläche im Vergleich zu älteren vorhandenen Katalysatorchargen der Firma HEKAtech.

Für die Messung der Proben wurden lediglich neue Shimadzu-Katalysatorchargen verwendet (keine aufbereiteten Chargen), welche zur Vorbehandlung über Nacht in 3 mol L^{-1} Salzsäure eingelegt, im Anschluss gründlich mit Milli-Q-Wasser gespült und im Trockenschrank bei 60°C über Nacht getrocknet wurden. Der warme Katalysator wurde in das Rohr gefüllt und das Katalysatorrohr unmittelbar in das Gerät eingesetzt.

Infolge des Austausches der Katalysatorchargen im Oxidationsrohr, muss der neu eingebaute Katalysator zunächst konditioniert werden. Ein Ausheizen des frisch eingesetzten Rohres im Gerät bei 720°C über Nacht oder besser über ein Wochenende hat sich als sinnvoll erwiesen (schneller niedrige stabile Blankwerte). Anschließend erfolgt zunächst ein Spülen des Katalysators mit 3 mol L^{-1} Salzsäure über die „Regeneration des TOC-Katalysators“-Software-

funktion des Geräts. Dieser Vorgang wird drei bis fünf Mal wiederholt. Sobald die Basislinien des NDIR- und des Chemilumineszenz-Detektors richtig positioniert und stabil sind, wird mit der Messung von mindestens 10 bis 15 Milli-Q-Blank-Proben (vgl. Abschnitt 3.2.3.8) begonnen. Die Anzahl der Milli-Q-Injektionen hängt davon ab, wie schnell ein stabiler, niedriger, vernachlässigbar kleiner Blankwert (Mittelwert der Peakfläche < 0,4 FE) erreicht ist. Im Höchstfall waren 15 Bankmessungen nötig. Während der analytischen Arbeit wurde fünf Mal der Katalysator gewechselt. In Abbildung 18 ist der zeitliche Verlauf der TOC-Konzentrationen (oben) bzw. der Mittelwerte der Peakflächen aller gemessener $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC-Standards (vgl. Abschnitt 3.2.3.9) veranschaulicht. Bei TOC Katalysator 1 und 2, sowie bei den Katalysatorchargen 3, 4 und 5 handelt es sich jeweils um dieselbe Stammlösung des Standards. Es ist zu erkennen, dass die Werte nicht abhängig von der Katalysatorcharge sind. Weiterhin ist eine Erschöpfung der katalytischen Aktivität der Chargen 1, 2 und 3 mit zunehmender Zeit zu erkennen und eine defekte Katalysatorcharge ließe sich mit Hilfe der laufenden Beobachtung der Peakflächen schnell identifizieren und austauschen.

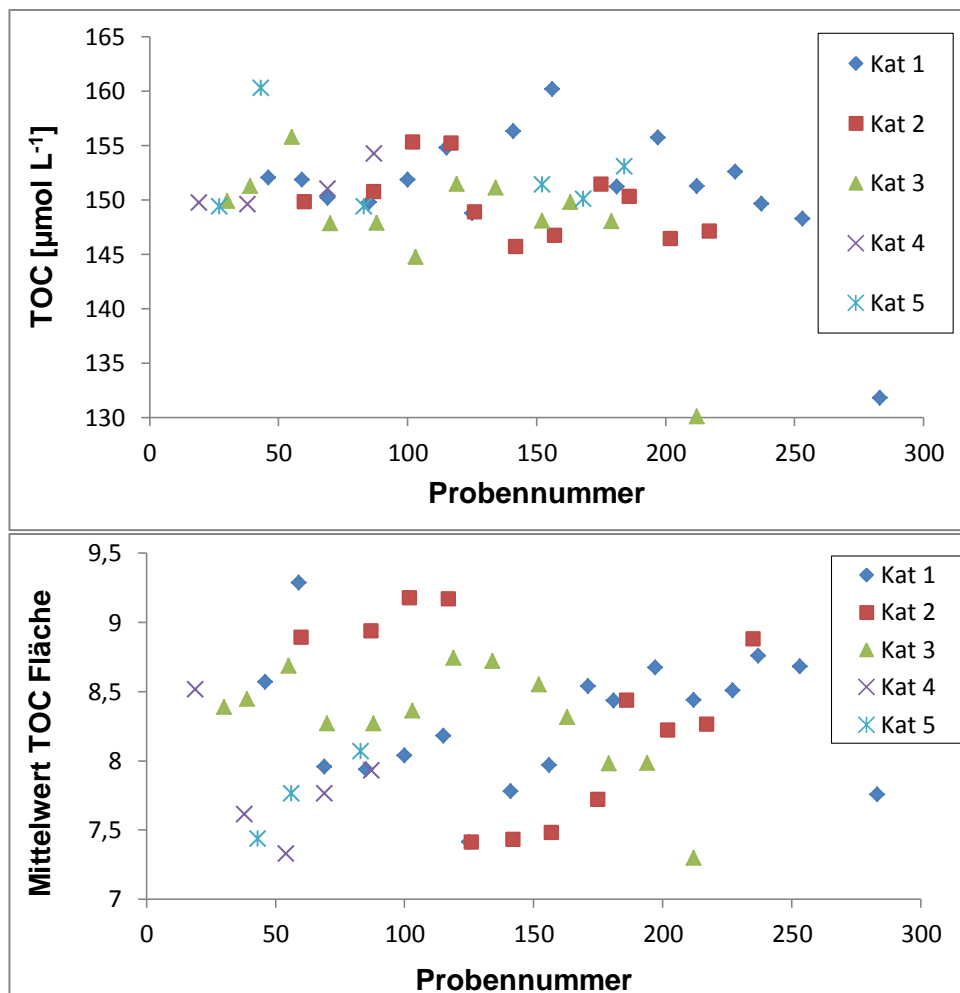


Abb. 18: Oben: ermittelte TOC-Konzentrationen der $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC-Standards der fünf unterschiedlichen Katalysatorchargen; unten: Mittelwerte der $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC-Standardflächen der fünf Katalysatorchargen.

Für die Regeneration des Katalysators wird das Pt / Al₂O₃-Katalysatormaterial, wie auch das Platinnetz, in 3 mol L⁻¹ Salzsäure für 24 Stunden stehen gelassen. Im Anschluss erfolgt solange ein gründliches Spülen mit Milli-Q-Wasser, bis die Katalysator-Perlen von der festen Ablagerung befreit sind und schließlich eine Trocknung im Ofen bei 100 °C, um das Wasser zu entfernen. Dieser Prozess wird wiederholt und im Anschluss an die zweite Trocknung findet ein Glühprozess des Katalysatormaterials im Röhrenofen bei 450 °C statt.

3.2.3.8 Blank TOC/TN

Das so genannte Blank-Wasser wird benötigt für die Zubereitung der Stammlösung, die Zubereitung der Kalibrierreihe, das Ansetzen der 3 mol L⁻¹ Salzsäure, als Spülreagenz und als Blank-Proben in der Messreihe. Als Blank findet Milli-Q-Wasser Anwendung, das mittels spezieller Austauscherpatronen und UV-Oxidation in einer Synergy 185-Milli-Q-Anlage generiert wird und sehr niedrige TOC-Gehalte aufweist (< 0,5 µmol L⁻¹ [Millipore GmbH]).

Das Wasser wird der Anlage erst entnommen, nachdem diese mindestens 45 Minuten gelaufen ist und wird in einen 5 L-Messkolben abgefüllt. Aus diesem Vorratsgefäß wird das Blank-Wasser maximal zwei Tage lang verwendet.

Der Gesamtblank einer Messung ist ein sich täglich ändernder Parameter [Álvarez-Salgado et al., 1998] und setzt sich zusammen aus dem Geräteblank und dem TOC-Gehalt des Wassers, das zum Ansetzen der Standards benutzt wird. Der Geräteblank ist von den Messergebnissen der Meerwasserproben abzuziehen, so dass eine Blankbestimmung und eine Unterscheidung des Geräte- und des Wasser-Blanks notwendig ist [Benner et al., 1993a].

Im Vorfeld dieser Arbeit fanden Versuche hierzu statt, in denen festgestellt wurde, dass der Blankwert des Milli-Q-Wassers vernachlässigbar klein ist [Steinhoff, 2004].

Infolge dessen wurde von allen Messergebnissen stets der Gesamtblank abgezogen, welcher durch die tägliche Kalibration bestimmt wurde. Die unterschiedlich hohen Blankwerte nach einem Katalysatortausch lassen sich durch den amorphen Charakter des Al₂O₃-Trägermaterials erklären [Cauwet, 1994]. Dies ist ein kaum abschätzbarer Faktor.

3.2.3.9 Kalibrierung und Standards TOC/TN

Die Kalibrierung des TOC-V_{CSN} erfolgt täglich mit Milli-Q-Wasser als Lösungsmittel für die anzusetzende Kalibrierreihe und der Wasserblank ist infolge dessen vernachlässigbar (vgl. Abschnitt 3.2.3.8) [Benner et al., 1993a, Wiebinga et al., 1998]. Als Kalibriersubstanzen kommen kohlenstoff- und stickstoffhaltige Feststoffe in Frage, welche sich leicht handhaben lassen (Gefahrenpotential, Einwaage, Trocknung), die wenig hygroskopisch sind, die sich vollständig in Milli-Q-Wasser lösen lassen und deren Kohlenstoff bzw. Stickstoff sich quantitativ umsetzt.

Bei den hier verwendeten Kalibriersubstanzen handelt es sich um Kaliumhydrogenphthalat $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})(\text{COOK})$ (KHP, 8 C-Atome, $M = 204,22 \text{ g mol}^{-1}$) als Kohlenstoffquelle und Ammoniumchlorid (NH_4Cl , 1 N-Atom, $M = 53,49 \text{ g mol}^{-1}$) als Stickstoffquelle.

Vor der Einwaage der Chemikalien müssen diese mindestens 1 Stunde bei 100°C getrocknet und anschließend im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Es wurde zunächst, wie nachfolgend beschrieben, eine Stammlösung des Mischstandards angesetzt:

Konzentration der Stammlösung: $c_{(\text{C})} = 150 \text{ mmol L}^{-1} \rightarrow 18,75 \text{ mmol L}^{-1} \text{ KHP}$
 $c_{(\text{N})} = 35 \text{ mmol L}^{-1} \rightarrow 35 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{Cl}$

Beide Substanzen werden in einen Messkolben eingewogen (vgl. Tabelle 3) und dieser wird mit frischem Milli-Q-Wasser auf 100 mL aufgefüllt. Die Stammlösung wird im Kühlschrank bis zu einem Monat lang gelagert.

Tabelle 3: Stoffmengen und Soll-Einwaagen der Standardsubstanzen Kaliumhydrogenphthalat (KHP, 8C) und Ammoniumchlorid (NH_4Cl , 1N).

| Standard | Stoffmenge | Einwaage soll | Einwaagebereich |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|
| KHP | $n_{(\text{KHP})} = 1,875 \text{ mmol}$ | $m_{(\text{KHP})} = 0,3829 \text{ g}$ | $0,3817 \text{ g} - 0,3841 \text{ g}$ |
| NH_4Cl | $n_{(\text{NH}_4\text{Cl})} = 3,50 \text{ mmol}$ | $m_{(\text{NH}_4\text{Cl})} = 0,1872 \text{ g}$ | $0,1867 \text{ g} - 0,1878 \text{ g}$ |

Die Konzentrationen der Standardlösungen sind so gewählt, dass sie die TOC / TN-Werten im Meerwasser des atlantischen Ozeans ($30 - 150 \mu\text{mol C}$ und $7 - 35 \mu\text{mol N}$) abdecken und sie schließen die TOC-Konzentration des für die Messungen benutzten Referenzmaterials (Deep Seawater, DSW: ca. $41 - 44 \mu\text{mol L}^{-1}$, vgl. Abschnitt 3.2.3.10) ein.

Der Konzentrationsbereich wird durch die Wahl von fünf Standardkonzentrationen unterteilt, da man mit fünf Messpunkten eine zufriedenstellende Regression erhalten kann. Der Stammlösung werden 20, 40, 60, 80 und 100 μL entnommen, jeweils in 100 mL-Messkolben gegeben und diese mit Milli-Q-Wasser aufgefüllt. Daraus resultieren Kalibrierreihen mit den Sollkonzentrationen 30, 60, 90, 120 und $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ für Kohlenstoff und 7, 14, 21, 28, $35 \mu\text{mol L}^{-1}$ für Stickstoff (vgl. Tabelle 4).

Zu Beginn eines Messtages wird eine komplette 5-Punktkalibrierung durchgeführt. Zur Kontrolle findet im nachfolgenden Messbetrieb in regelmäßigen Intervallen von ca. allen 14 Proben eine 2-Punktkalibrierung ($60 \mu\text{mol L}^{-1}$ und $150 \mu\text{mol L}^{-1} \text{ C}$) statt. Am Ende eines Messtages erfolgt eine zweite vollständige Kalibrierung.

Tabelle 4: Herstellung der fünf Standardlösungen (je 100 mL) aus der Stammlösung für die tägliche Kalibrierung.

| Konzentration C [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | Konzentration N [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | Zu pipettierendes Volumen der Stammlösung [μL] |
|--|--|---|
| 30 | 7 | 20 |
| 60 | 14 | 40 |
| 90 | 21 | 60 |
| 120 | 28 | 80 |
| 150 | 35 | 100 |

Es werden lineare Regressionen für die Ermittlung der TOC-Konzentrationen herangezogen. Der Achsenabschnitt der linearen Regressionskalibriergerade schätzt den instrumentellen Blankwert ab und die Steigung beschreibt die Beständigkeit des Messgerätes. Eine gleichbleibende Steigung spricht für ein stabil laufendes System. Veränderungen in der Steigung weisen auf Veränderungen in den Arbeitsbedingungen hin.

Ein gutes Indiz für ein stabiles System liefert auch das Bestimmtheitsmaß (Determinationskoeffizient) R^2 . Typische Werte für das Bestimmtheitsmaß lagen für die einzelnen Kalibrationen bei $R^2 > 0,9966$. Eine beispielhafte lineare Regression einer TOC-Kalibration in Milli-Q-Wasser ist in Abbildung 19 dargestellt.

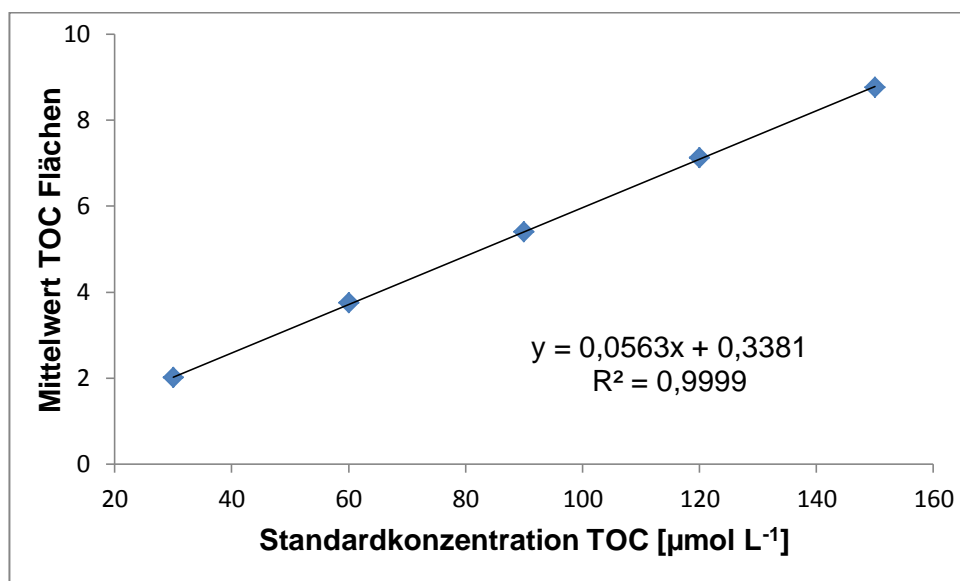
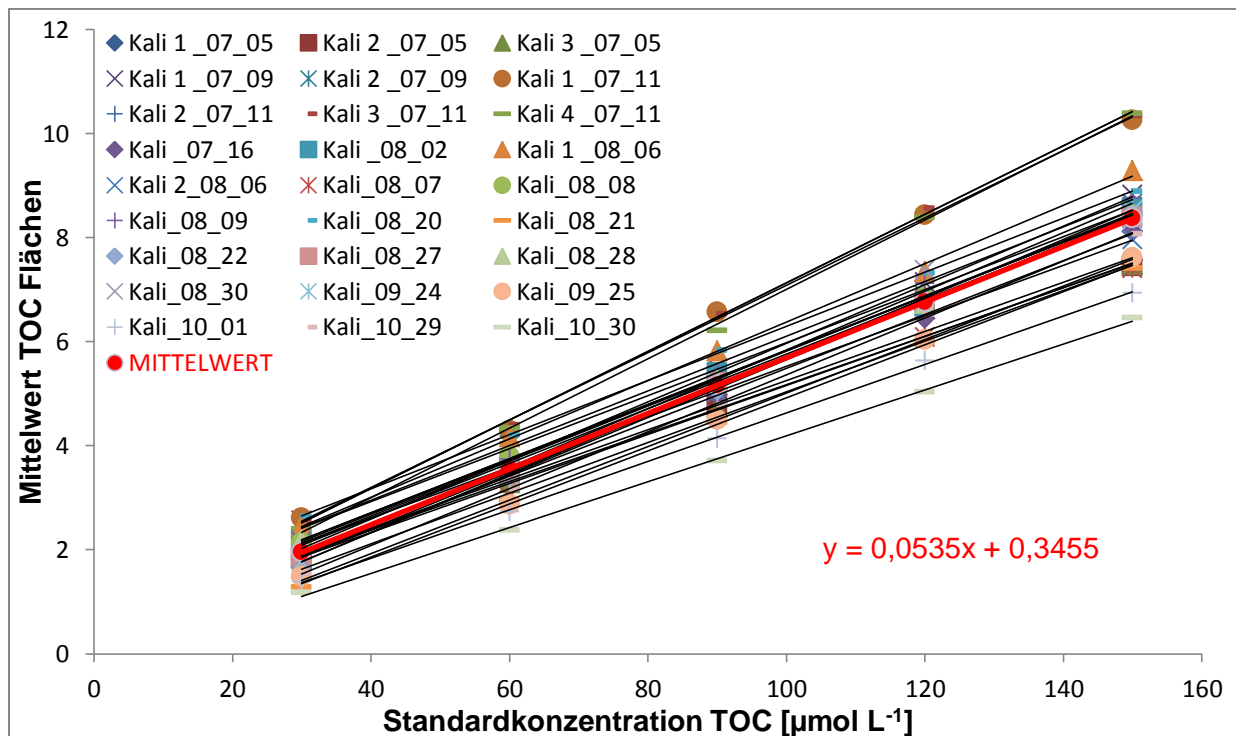


Abb. 19: Beispiel einer TOC-Kalibrierung mit KHP (08.09.2012), Daten siehe Tabelle 5.

Tabelle 5: Daten der beispielhaften TOC-Kalibrierung mit KHP (Abbildung 19).

| Standardkonzentration C [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | Mittelwert der Fläche TOC | Konzentration TOC [$\mu\text{mol L}^{-1}$] |
|---|------------------------------|---|
| 30 | 2,01 | 29,6 |
| 60 | 3,74 | 60,5 |
| 90 | 5,39 | 89,8 |
| 120 | 7,12 | 120,4 |
| 150 | 8,76 | 149,6 |

Die Werte des reinen Milli-Q-Wassers dürfen nicht als Nullwerte in die lineare Regression einbezogen werden, denn das Detektionslimit des Systems liegt bei $4 \mu\text{mol L}^{-1}$. Alle gemessenen Konzentrationen die kleiner als $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ sind, werden daher vom Gerät als TOC-Flächen von 0,000 detektiert. Die Kalibrierung würde infolgedessen durch den Milli-Q-Nullwert verfälscht werden.

**Abb. 20:** Alle TOC-Kalibrationen mit KHP und der Mittelwert der Messungen.

In Abbildung 20 sind alle Kalibrationen des KHP-Standards (TOC, $R^2 = 0,9156$) in MQ dargestellt. Die Regressionsgleichung für alle TOC-Kalibrierungen lautet $y = 0,0535x + 0,3455$. Aus Abbildung 20 wird deutlich, dass die Steigung der Regressionsgeraden, also der Mittelwert der Steigungen aller Kalibrationen in einem Toleranzbereich, im Rahmen der Messungenauigkeit immer gleich bleibt. Diese Steigung wurde (mit wenigen Ausnahmen) täglich wieder gefunden.

Man kann daraus erkennen, dass fünf Standards für die tägliche Kalibration mehr als ausreichend sind.

Zur weiteren Veranschaulichung sind in Abbildung 21 die Parameter der linearen Regressionen (Achsenabschnitt (A) und Steigung (S); Daten in Tabelle 6) des jeweiligen Messtages in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf dargestellt. Die Werte der Steigungen der täglichen Kalibrierungen stehen in guter Übereinstimmung. Die mittlere Abweichung liegt bei 0,0043 Einheiten. Weiterhin ist deutlich zu erkennen, dass sich die Steigung im Laufe der Analysenzeit kaum verändert hat. Die Werte der Achsenabschnitte der täglichen Kalibrier-Regressionsgraden streuen dagegen weitaus mehr und zeigen eine durchschnittliche Abweichung von 0,276 Einheiten. Diese mittlere Abweichung ist erheblich größer als die der Steigung und begründet durch die täglichen Schwankungen des Geräte- und des Milli-Q-Wasserblanks.

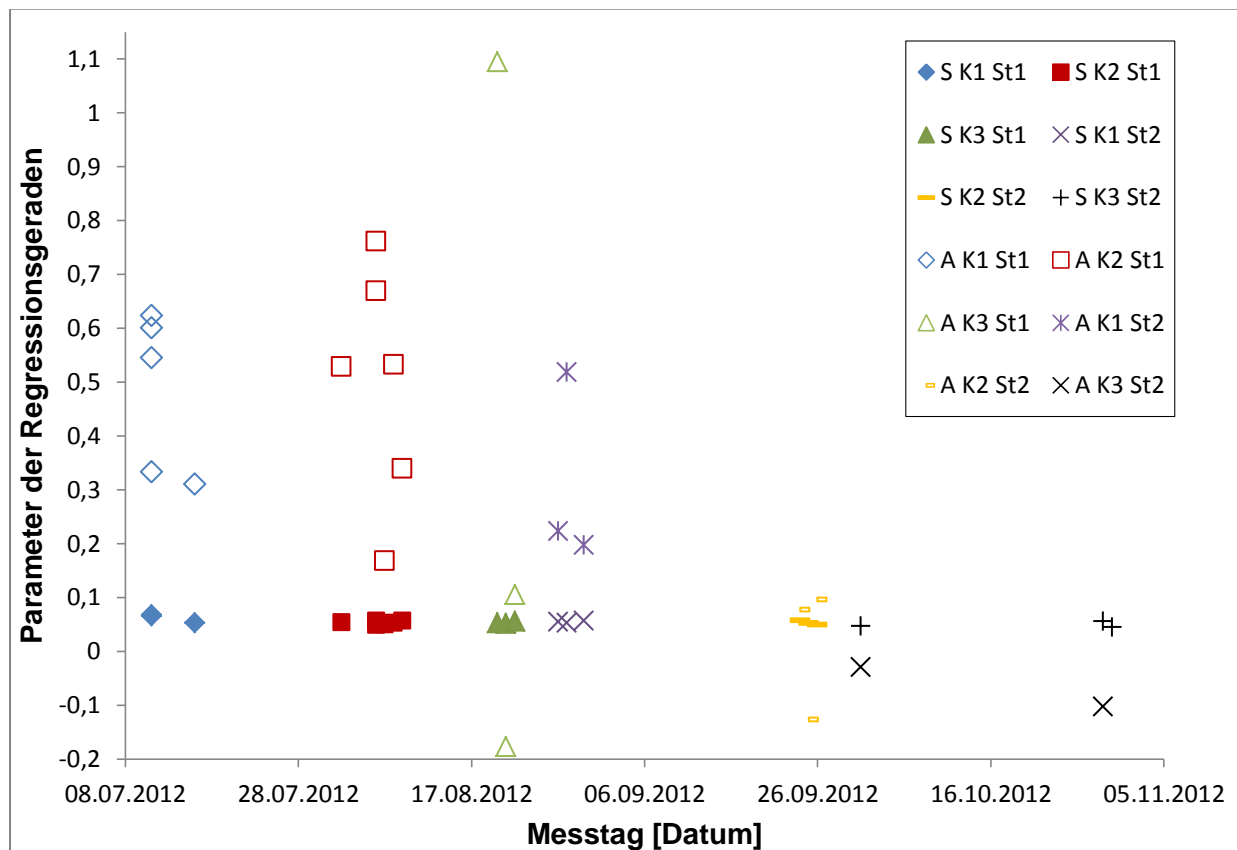


Abb. 21: Steigungen und Achsenabschnitte der linearen TOC-Regressions-Kalibriergraden im zeitlichen Verlauf (verschiedene Messtage): S = Steigung, A = Achsenabschnitt, K = Katalysatorcharge, St = Stammlösungscharge. Es handelt sich um zwei verschiedene Standardstammlösungen und jeweils drei verschiedene Katalysatorchargen, die verwendet wurden. Bei den Katalysatorchargen handelt es sich jeweils um andere Chargen, obwohl sie hier dieselbe Nummerierung erhalten.

Tabelle 6: Steigungen und Achsenabschnitte der linearen TOC-Regressions-Kalibriergraden im zeitlichen Verlauf. Daten der Abbildung 21.

| Datum | Regressionsgerade | Stammlösung | Katalysator | Bezeichnung |
|------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 11.07.2012 | $y = 0,0648x + 0,6001$ | 1 | 1 | K1 St1 |
| 11.07.2012 | $y = 0,0521x + 0,6229$ | | | |
| 11.07.2012 | $y = 0,0659x + 0,5445$ | | | |
| 11.07.2012 | $y = 0,0667x + 0,3321$ | | | |
| 16.07.2012 | $y = 0,0517x + 0,3098$ | | | |
| 02.08.2012 | $y = 0,0529x + 0,5275$ | | 2 | K2 St1 |
| 06.08.2012 | $y = 0,0561x + 0,7606$ | | | |
| 06.08.2012 | $y = 0,0485x + 0,6686$ | | | |
| 07.08.2012 | $y = 0,0487x + 0,1667$ | | | |
| 08.08.2012 | $y = 0,0523x + 0,5313$ | | | |
| 09.08.2012 | $y = 0,0563x + 0,3381$ | | | |
| 20.08.2012 | $y = 0,0520x + 1,0945$ | | 3 | K3 St1 |
| 21.08.2012 | $y = 0,0510x - 0,1777$ | | | |
| 22.08.2012 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | | | |
| 27.08.2012 | $y = 0,0545x + 0,2222$ | 2 | 1 | K1 St2 |
| 28.08.2012 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | | | |
| 30.08.2012 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | | | |
| 24.09.2012 | $y = 0,0563x + 0,0762$ | | 2 | K2 St2 |
| 25.09.2012 | $y = 0,0514x - 0,12830$ | | | |
| 26.09.2012 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | | | |
| 01.10.2012 | $y = 0,0466x - 0,0305$ | | 3 | K3 St2 |
| 29.10.2012 | $y = 0,0547x - 0,1030$ | | | |
| 30.10.2012 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | | | |

3.2.3.10 Referenz-Material TOC

Um eine hohe Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit denen anderer Arbeitsgruppen gewährleisten zu können, wurde ein Referenz-Standard-System (CRM, Certified Reference Material) durch das biogeochemische Labor an der Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami entwickelt.

Dieses Labor stellt zum einen so genanntes „deep seawater“ (DSW, Batch 12-2012 Lot #03&06, ca. 700 m, ca. $41 - 44 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC) aus dem Florida Strait als auch „low carbon water“ (LCW, ca. $2 \mu\text{mol L}^{-1}$), also Seewasser mit niedrigem Kohlenstoffgehalt. Die Referenzproben werden mit Phosphorsäure konserviert und in 20 mL-Glasampullen eingeschmolzen. Die Messung der Referenz-Materialien DSW und LCW erfolgt regelmäßig mehrmals pro Messtag zwischen den zu analysierenden Proben und dient der internen Kontrolle der Systemstabilität (Reproduzierbarkeit und Genauigkeit).

In Abbildung 22 ist die Analyse der Referenz-Materialien und der 2-Punktkalibrierungen eines Messtages dargestellt. Die relative Stabilität des Messsystems in der Bestimmung der DSW-, der LCW-Konzentrationen, sowie in den 2-Punktkalibrierungen ist zu erkennen (vgl. Tabelle 7). Die Abweichung die sich für die $60 \mu\text{mol L}^{-1}$ - und $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ -Standards, sowie für die

DSW-Referenzmaterialien im Laufe des Messtages ergeben (negative Steigung der Regressionsgerade, vgl. Abbildung 22), liegen bei 0,03 bis 0,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ und damit im Rahmen der Messungenauigkeit des Gerätes. In Abbildung 23 sind die Messungen der DSW- und der LCW-Konzentrationen in Relation zur Kalibrierung gesetzt wurden.

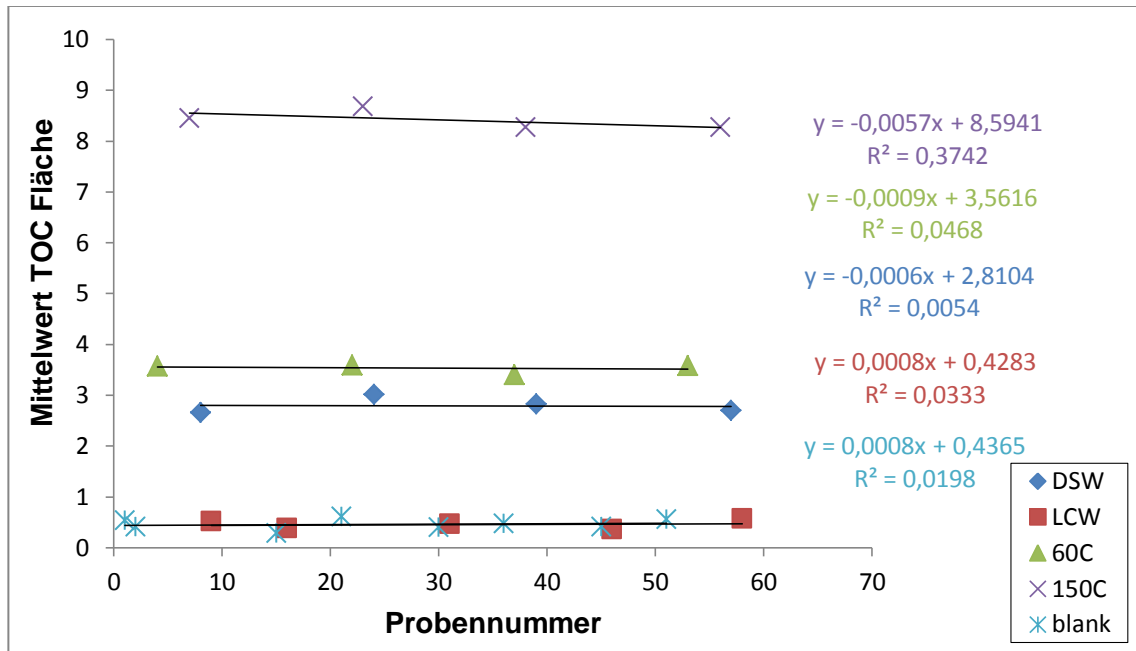


Abb. 22: Messungen der DSW-, LCW-, Blank- und Standardkonzentrationen (60 $\mu\text{mol L}^{-1}$ und 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$) in einer 2-Punktkalibrierung zur Kontrolle der Systemstabilität während eines Messtages (28.09.2012).

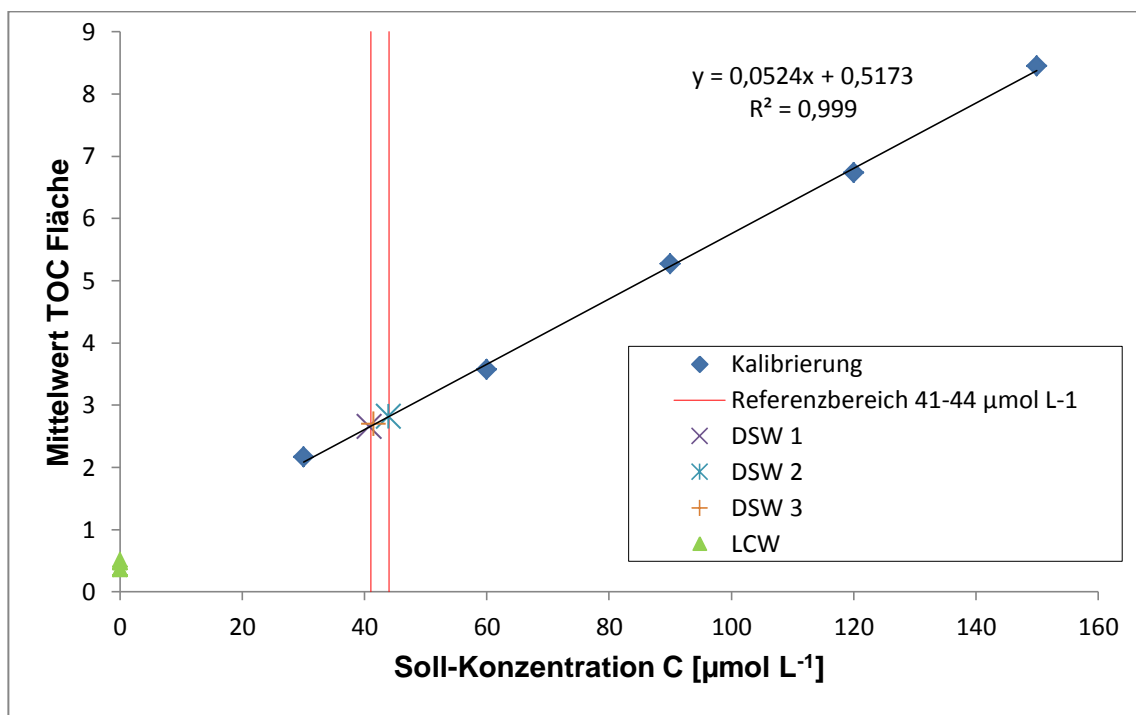


Abb. 23: Bestimmung der Referenzmaterialien-Konzentrationen. Daten siehe Tabelle 7.

Die LCW-Konzentration soll bei ca. $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ und die DSW-Konzentration bei ca. 41 - 44 $\mu\text{mol L}^{-1}$ liegen. Die Ergebnisse der DSW-Analysen stehen in guter Übereinstimmung mit den Sollwerten (40,9 bis 43,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$; vgl. Abbildung 23 und Tabelle 7), jedoch ist eine eindeutige Bestimmung des LCW nicht möglich, denn das Detektionslimit des System liegt, wie oben bereits erwähnt, bei 4 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Die berechneten LCW-Werte würden demnach im negativen Bereich liegen, was physikalisch keinen Sinn macht, dennoch liegen die Absolutwerte der LWC-Messungen im Bereich der Milli-Q-Blank-Proben (Vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Daten der Bestimmung der Referenzmaterialien-Konzentrationen und der Messungen der DSW-, LCW- und Standardkonzentrationen in einer 2-Punktkalibrierung zur Kontrolle der Systemstabilität während eines Messtages (28.09.2012).

| Art der Probe | MW Fläche (NPOC) | Probennummer |
|---------------|------------------|--------------|
| 30 C | 2,164 | 3 |
| 60 C | 3,57 | 4 |
| 90 C | 5,262 | 5 |
| 120 C | 6,733 | 6 |
| 150 C | 8,445 | 7 |
| Blank | 0,5296 | 1 |
| Blank | 0,4086 | 2 |
| Blank | 0,2825 | 15 |
| Blank | 0,6022 | 21 |
| Blank | 0,3934 | 30 |
| Blank | 0,4711 | 36 |
| LCW | 0,5131 | 9 |
| LCW | 0,3752 | 16 |
| LCW | 0,4637 | 31 |
| LCW | 0,3542 | 46 |
| LCW | 0,5627 | 58 |
| DSW | 2,654 | 8 |
| DSW | 2,819 | 37 |
| DSW | 2,691 | 59 |
| 60C | 3,588 | 22 |
| 60C | 3,398 | 37 |
| 60C | 3,581 | 53 |
| 150C | 8,683 | 23 |
| 150C | 8,267 | 38 |
| 150C | 8,269 | 56 |

3.2.3.11 Katalysatoreffizienz- Experimente TOC

In regelmäßigen Abständen sollte die Katalysatoreffizienz überprüft werden, um zu gewährleisten, dass die Oxidationsausbeute des Katalysators für alle Messungen nahezu konstant ist [JGOFSProtocols, 1994]. In dem Experiment kommen Lösungen verschiedener Chemikalien zum Einsatz, in denen die Kohlenstoff-Atome unterschiedlich stark gebunden sind. Aufgrund der unterschiedlichen Oxidierbarkeit der Substanzen erhält man eine Aussage über den Wirkungsgrad des Katalysators.

Bei den zu verwendenden Chemikalien handelt es sich um:

- Harnstoff (1 C, 2 N), $M = 60.06 \text{ g mol}^{-1}$
- Thioharnstoff (1 C, 2 N), $M = 76.12 \text{ g mol}^{-1}$
- EDTA, Ethylendiamintetraessigsäure (10 C, 2N), $M = 404.47 \text{ g mol}^{-1}$

Zunächst werden drei Stammlösungen für das Katalysatoreffizienz-Experiment angesetzt: Jeweils 100 mL mit $100 \text{ mmol L}^{-1} \text{ C}$ (Einwaagen vgl. Tabelle 8). Diese Stammlösungen werden im Anschluss verdünnt. In der dritten Spalten der Tabelle 8 findet man das Volumen, dass man entnehmen und auf 100 mL verdünnen muss, um eine Kohlenstoff-Konzentration von 100 C zu erhalten. Die Kaliumhydrogenphthalat-Kalibrierung dient als Ausgangspunkt für die Berechnung der Katalysatoreffizienz.

Tabelle 8: Einwaagen für die Herstellung der Stammlösungen für das Katalysatoreffizienz-Experiment und Volumina für die Verdünnungsreihen.

| Chemikalie | Stammlösung Solleinwaage / 100 mL [g] | Verdünnung $\mu\text{L} / 100 \text{ mL}$ für 100 C |
|---------------|--|--|
| EDTA | 0,4045 | 100 |
| Harnstoff | 0,6006 | 100 |
| Thioharnstoff | 0,7612 | 100 |

Die Ergebnisse des Katalysatoreffizienz-Experiments sind in Tabelle 9 in Form von Ausbeuten in Prozent angegeben. Der organische Kohlenstoff konnte mit guten Ausbeuten wieder gefunden werden. Die erhöhten Wiederfindungsraten des Kohlenstoffs können z.T. aus Pipettier-, Wäge- und Messungenauigkeiten entstanden sein.

Tabelle 9: Ergebnisse des Katalysatoreffizienz-Experiments für die Kohlenstoffkomponenten: Thioharnstoff, Harnstoff und EDTA.

| Chemikalie | Soll-Konzentration C [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | Ist-Konzentration C [$\mu\text{mol L}^{-1}$] | Ausbeute [%] |
|---------------|--|---|--------------|
| Thioharnstoff | 100 | 104,2 | 104 |
| Harnstoff | 100 | 100,5 | 101 |
| EDTA | 100 | 101,6 | 102 |

3.2.3.12 Qualitätskontrolle TOC/TN

Für die Gewährleistung einer hohen Analysequalität wurden mehrere Kriterien in Betracht gezogen. Neben der ständigen Betrachtung der $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ -Standardpeakflächen zur Kontrolle der Katalysatorchargen und der Identifizierung von Drifts in den Messreihen, wurde die Abweichung der einzelnen Injektionen pro Probe begutachtet. Die mittlere Standardabweichung aller in dieser Arbeit gemessener Seewasserproben liegt bei $1,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC. Dies entspricht den zuvor gewählten Messeinstellungen ($1,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC $\approx 0,1$ FE; vgl. Abschnitt 3.2.3.4). Weiterhin wurde das Referenzmaterial mehrmals pro Messtag gemessen. Der Mittelwert aller DSW-Messungen beträgt $42,8 \pm 1,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ und der Gehalt des zertifizierten Referenzmaterials ist $41 - 44 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Das verwendete Gerät weist eine hohe Genauigkeit ($\pm 1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$, Abweichungen von den Standardkonzentrationen und den DSW-Sollwerten) auf. Die Reproduzierbarkeit lässt sich aus der mittleren Abweichung der DSW-Werte und der Analyse von Doppelproben (insgesamt 57 Stück) eines Messtages ermitteln und beträgt $\pm 2,3 \mu\text{mol L}^{-1}$.

3.2.3.13 Fehlerbetrachtung TOC/TN

Bei der Messung von organischem Kohlenstoff in Meerwasserproben ist der größte Fehler, der entstehen kann, die Kontamination der Proben. Dieser Fehler kann vermieden werden, indem die oben beschriebenen Vorkehrungen getroffen werden, wie z.B. das gründliche Reinigen der Probengefäße und das dauerhafte Tragen von Handschuhen während der Probenahme und der Bestückung des Autosamplers. Weiterhin ergibt sich ein Volumenfehler beim Ansetzen der Standardlösungen durch das Pipettieren (ca. $\pm 1 \%$ bzw. $\pm 0,2$ bis $0,8 \mu\text{L}$ je nach zu pipettierendem Volumen: von $20 \mu\text{L}$ bis $100 \mu\text{L}$) und das Auffüllen der Messkolben (ca. $\pm 0,1 \text{ mL}$). Die Verwendung von unterschiedlichem Blankwasser, je nach Messtag, führt zu Differenzen in den Ergebnissen, dieser lässt sich jedoch nicht quantifizieren. Während der Probenanalyse kann es zu fehlerhaften Ergebnissen kommen, wenn der Wasserdampf nicht vollständig aus dem Probengasstrom entfernt wird, da dieser die Chemolumineszenz-Reaktion am Detektor stört. Die Größenordnung dieses möglichen Fehlers lässt sich jedoch nicht abschätzen.

Bei der Kalibrierung mittels linearer Regression entsteht auch ein Standardfehler in der Bestimmung der Konzentration aus den Peakflächen über den Fehler der Steigung und des Achsenabschnittes. Der mittlere Fehler liegt für TOC bei $0,3 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Der Fehler in der Flächenbestimmung der Chromatogrammepeaks ist gleich der Reproduzierbarkeit der Messung und liegt bei $0,1$ Flächeneinheiten, was wiederum der maximalen Standardabweichung der Messung und $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ entspricht.

Vor Beginn der Messung werden einige Parameter eingestellt, die der Minimierung der Standardabweichung dienen (Injektionsvolumen; zugegebene Säuremenge; Ausgaszeit; max.

Variationskoeffizient). Hierzu zählt auch die Anzahl der Injektionen einer Probe, aus denen ein Mittelwert gebildet wird. Weiterhin kann dem System eine maximale Standardabweichung vorgegeben werden, so dass die Injektion einer Probe so oft erfolgt, bis dieser Wert unterschritten wird.

Um einen einwandfreien Analysenbetrieb zu gewährleisten, gilt es einige Dinge zu beachten, um so mögliche Fehlerquellen zu eliminieren (vgl. Abschnitt 3.2.3.6): Der „halogen-scrubber“ muss regelmäßig getauscht werden; der „Humidifier“ und das „Drain“-Gefäß müssen stets aufgefüllt sein; der „InjectionSlider“ muss gereinigt werden; der O₂-, N₂- und Pressluftdruck muss konstant und hoch genug sein; es sollte vor jeder Messreihe ein Nullabgleich durchgeführt werden. Um Verdunstungseffekten der Proben aufgrund offener Vials im Autosampler vorzubeugen, sollte ein nasses Papiertuch in den Autosampler gelegt werden. Die Proben werden gefroren auf den Probenhalter des Autosamplers gestellt. Eine Durchmischung der Proben vor der Analyse findet nicht statt. Die Proben sollten vor der Analyse geschüttelt werden, denn ggf. gehen sonst einige µmol organischen Kohlenstoffs aufgrund von Oberflächenadsorption an der Gefäßwand verloren.

Im Laufe der Zeit entsteht im Strahlengang des Detektors eine Verunreinigung auf der dort befindlichen Goldfolie. Hierbei handelt es sich um ein Beschlagen der ansonsten reflektierenden Folie aufgrund der Ablagerung von Kupferoxidverbindungen (aus dem halogen-scrubber stammend). Dies führt dazu, dass die Goldfolie ihre reflektierende Wirkung nach und nach verliert und stattdessen einen absorbierenden Effekt ausübt. Die Messwerte fallen folglich, über einen längeren Zeitraum betrachtet, zu niedrigeren Werten ab. Der Strahlengang des TOC-Detektors sollte regelmäßig kontrolliert und ggf. gereinigt werden. Für die Kontrolle der Detektorfunktion könnte beispielsweise ein externer Detektor (Licor NDIR-Gasanalysator, vgl. [Steinhoff, 2004] und [Álvarez-Salgado et al., 1998]) in den Probengasstrom nach dem geräteinternen Detektor, geschaltet werden.

Während dieser Arbeit ist die TN-Einheit des TOC-Gerätes ausgefallen, so dass für mehr als die Hälfte der TOC / TN-Proben keine TN-Daten ermittelt werden konnten. Die übrigen Messergebnisse werden zum überwiegenden Teil angezweifelt, weshalb diese in der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

3.3 POC/PON

3.3.1 Probenahme, Filtration und Probenlagerung POC/PON

Die Probenahme für die Bestimmungen von partikulärem organischem Kohlenstoff und Stickstoff erfolgt in mit Milli-Q-Wasser gereinigten Polyethylenflaschen. Die genommenen Meerwasserproben eines definierten Volumens werden unmittelbar nach der Probenahme filtriert. Die Menge des zu filtrierenden Meerwassers muss nach der Konzentration des suspendierten Materials (Planktongehalt) in der Probe gewählt werden, um genügend Material für eine optimale Analyse zu erhalten. Diese kann im Bereich zwischen 0,5 - 2 L im biologisch produktiven Oberflächenwasser liegen. Bei den Filtern handelt es sich um GF/F-Glasfaser-Filter der Firma Whatman® mit einem Durchmesser von 25 mm. Die chemisch inerten Filter bestehen aus einem Glasfasergeflecht mit einer nominalen Porengröße von etwa 0,7 µm. Die Filter werden zur Vorbereitung auf die POC / PON-Probenahme in Alufolie gewickelt und bei 450 - 500 °C im Ofen für ca. 4 - 5 h geglüht [Wurl *et al.*, 2009]. Der Rückstand, welcher sich nach der Filtration auf dem Filter befindet, enthält die POC / PON-Fraktion. Lediglich ein leichtes Vakuum (bis zu 0,2 bar) wird zur Filtration verwendet [Wiltshire, 2009], um eine Zerstörung der Zellen zu vermeiden. Die Filter dürfen während der Filtration nicht austrocknen und die Dauer der Filtration sollte nach Möglichkeit ca. 0,5 Stunden nicht überschreiten, denn danach können Veränderungen der abfiltrierten Partikel auftreten [Wurl *et al.*, 2009]. Unmittelbar nach der Filtration der POC / PON-Proben erfolgt eine Konservierung bis zur Messung im Labor an Land: Die trocken gesaugten Probenfilter können in Plexiglaspetrischalen aufbewahrt und in dieser Form bei -18 °C tiefgefroren werden.

3.3.2 Analytische Arbeit: Bestimmung von POC/PON

3.3.2.1 Probenvorbereitung POC/PON

Die Probenfilter müssen für die POC-Analysen zunächst vorbereitet werden. Dafür werden die gefrorenen Filter aus der Petrischale genommen und auf eine Probenplatte aus Karbonat gelegt (Abbildung 24 links). Eine Platte bietet Platz für 24 Proben und maximal drei Platten werden gemeinsam in eine Carbonatbox geschoben. In dieser Carbonatbox werden die Filter für 24 Stunden mit rauchender Salzsäure abgeräuchert, um den anorganischen vom POC zu entfernen (vgl. Abbildung 24 rechts) [Hedges *et al.*, 1984].

Die mittlere globale Produktion von partikulärem anorganischen Kohlenstoff (PIC, particulate organic carbon) im Meer entspricht etwa 25 % der Herstellung von POC [Broecker *et al.*, 1982], weshalb die Entfernung der anorganischen partikulären Fracht notwendig ist, um eine Überschätzung der POC-Konzentration zu vermeiden.



Abb. 24: Links: Carbonatplatten mit unterschiedlich stark beladenen POC-Probefiltern;
Rechts: Carbonatbox mit rauchender Salzsäure zur Entfernung des
anorganischen partikulären Kohlenstoffs.

Im Anschluss an das Abräuchern der Filter werden diese mit Pinzetten von den Carbonatplatten auf Plexiglasplatten (vgl. Abbildung 25 links) übertragen und auf diesen im Trockenschrank bei 60 °C für 24 Stunden getrocknet. Danach wird die Plexiglasplatte mit den Filtern in einer trockenen Umgebung, vorzugsweise in einer Trockenbox, aufbewahrt.

Zur Analyse werden die getrockneten Filter mit einem Paar Pinzetten auf einem Spiegel zwei Mal gefaltet, aufgerollt, in Schiffchen aus Zinnfolie verbracht und eingewickelt (vgl. Abbildung 25 rechts). Erst unmittelbar vor der Analyse werden die so präparierten Zinn-Filterrollen, die im Exsikkator aufbewahrt werden, mit einem Stempel zu Kugeln gepresst. Die fertig vorbereiteten Proben werden in den automatischen Probengeber gelegt.

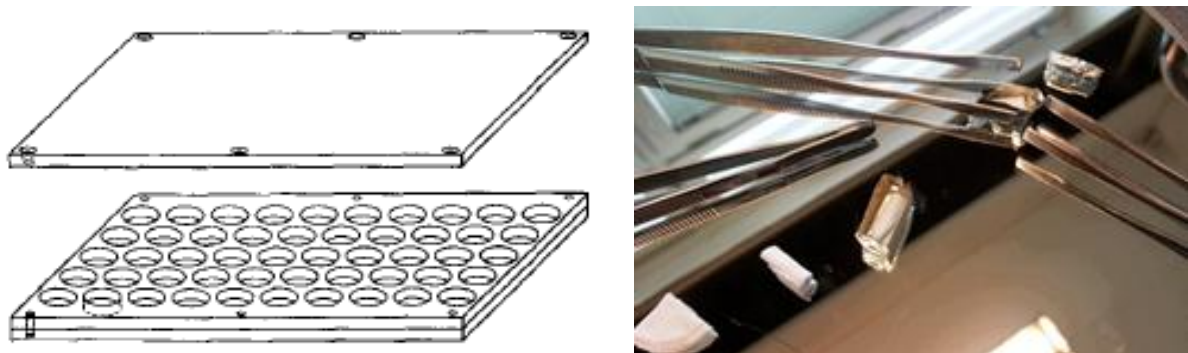


Abb. 25: links: Plexiglas-Filter-Transportbox [Ehrhardt et al., 1999]; rechts: Falten und Packen
der Probenfilter in Zinnschiffchen als Vorbereitung auf die Analyse.

3.3.2.2 Analytisches System und Handhabung POC/PON

Gordon [1969] und *Kerambrun et al.* [1969] waren die Ersten, die eine Methode für die simultane Messung von organischem Kohlenstoff und Stickstoff aus partikulärem marinem Material beschrieben haben. Die modernen Methoden für die Bestimmung von POC und PON sind mit einer Hochtemperatur-Verbrennung des Filters und seiner organischen Fracht verbunden. Die verschiedenen Verbrennungsmethoden unterscheiden sich hauptsächlich in dem Verfahren, das CO_2 und den Stickstoff (N_2), welche aus dem organischen Material entstehen, zu detektieren.

Die Methode, welche heutzutage häufig zum Einsatz kommt, ist ein kommerzieller CN-Analysator, welcher für die Messung von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff verwendet werden kann [*Ehrhardt et al.*, 1999, *Hagell et al.*, 1973]. Die Hauptkomponenten eines CN-Elementar-Analysators nach [*Sharp*, 1974], wie er auch in dieser Arbeit Anwendung findet, sind ein Auto-sampler, ein Säulenreaktor für die Verbrennung, eine Reduktionssäule, ein gaschromatographisches Trennsystem, eine Detektoreinheit und eine Computereinheit für die Ausgabe der Analysenergebnisse.

Bei dem im Zuge dieser Arbeit verwendeten Messgerät zur Bestimmung von POC handelt es sich um einen CN-Elementaranalysator EuroEA der Firma HEKAtech GmbH (vgl. Abbildung 26). In Abbildung 27 ist ein Flussdiagramm des CN-Elementaranalysators dargestellt.

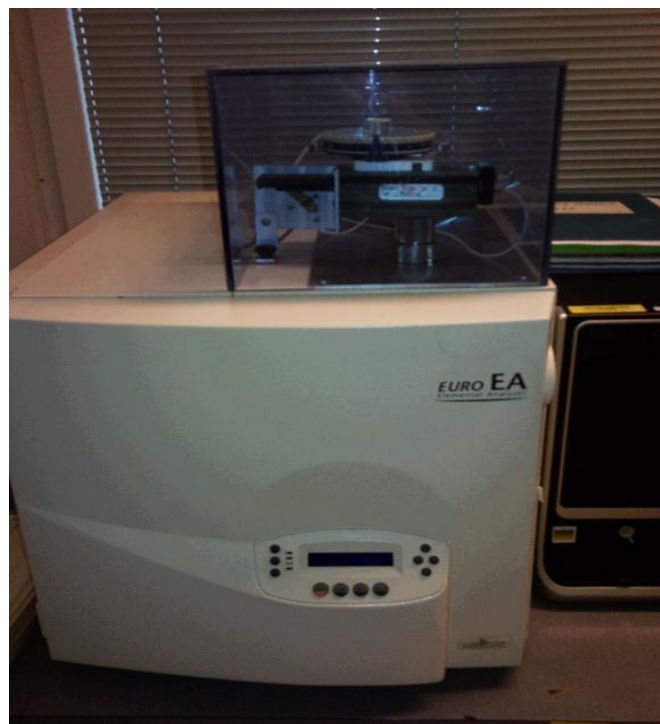


Abb. 26: Der CN-Elementaranalysator EuroEA der Firma HEKAtech GmbH im Labor des FB2 marine Biogeochemie, FE Biologische Ozeanographie, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel.

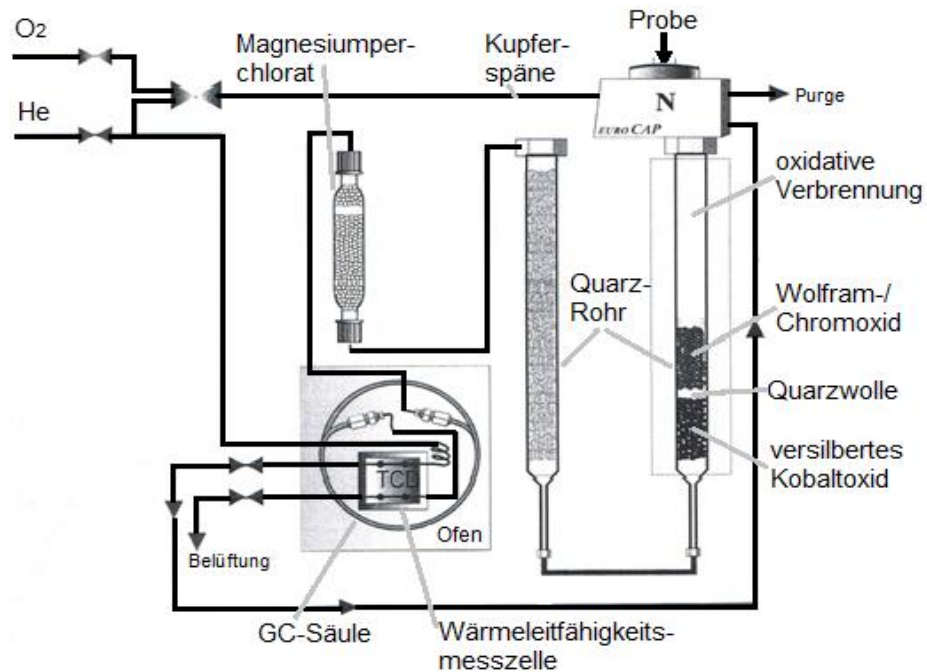


Abb. 27: Flussdiagramm des EuroEA-Elementanalysators der Firma HEKAtech GmbH: Layout für CN-Bestimmung.

Die Instrumentenparameter, die über die CN-Software *Callidus* eingestellt werden, sind üblicherweise gleich bleibend und in Tabelle 10 aufgeführt. Vor jedem Messtag erfolgt ein Gerätetest, bei dem drei Mal eine Leerverbrennung durchgeführt wird, um die atmosphärischen Komponenten aus dem System zu entfernen. Stattdessen kann auch eine Verbrennung eines so genannten „Rohrputzers“ erfolgen. Dabei handelt es sich um einen überschüssigen oder falsch eingewogenen Standard (vgl. Abschnitt 3.3.3.4).

Tabelle 10: CN-Instrumentenparameter, die über die CN-Software *Callidus* eingestellt werden.

| Instrumentenparameter | Gewählte Größe |
|--|--|
| Methode | CN.pag und CN.mth |
| Ofentemperatur (Oxidation) | 1050°C |
| Flussrate Helium 5.0 (Carrier) | 92 +/- 3 kPa |
| Spülen mit Referenzgas (Purge) | 80 mL min ⁻¹ |
| Ofentemperatur (Gaschromatograph; Oven) | 50 °C |
| Ofentemperatur (Reduktion; Rear furnace) | 680 °C |
| Probenverzögerung (Sampling delay) | 14 sec |
| Analysenzeit (Run time) | 300 sec |
| Flussrate Sauerstoff 4.8 (oxygen) | 14 mL absolut |
| Druck Sauerstoff (Delta oxygen) | 20 kPa |
| Oxidationszeit (oxidation time) | 9.4 - 11.1 sec (je nach O ₂ Zugabe) |

War der Gerätetest erfolgreich (80 % N₂ nach 90 sec und 0,3 % C nach 120 sec), wird mit dem Eintragen der Proben („Auto fill“ Funktion) in die Probentabelle der Software begonnen.

Der Autosampler des HEKAtech GmbH CN-Elementaranalysators hat eine Kapazität von 20 Proben bzw. Standards. Die Proben-Zinnkugeln und die Standards (siehe Abschnitt 3.3.3.4) werden automatisch in den CN-Analysator eingeführt.

Die Proben-Pellets fallen zunächst über ein Ventil im Probengeber in eine Kammer über der Verbrennungssäule, welche dann etwa eine Minute lang mit Helium gespült wird, um atmosphärischen N₂ und CO₂ zu entfernen. Nach dem Spülen fällt die Probe in die mit Sauerstoff gefüllte Verbrennungssäule aus Quarzglas, in der sich ein 220 mm langer so genannter Aschefinger befindet. Unterhalb des Aschefingers befindet sich eine Schicht aus Quarzwolle. Darunter liegen eine Wolframoxidschicht, eine weitere Quarzwolleschicht und eine Schicht von versilbertem Kobaltoxid.

Unter Zufuhr von reinem Sauerstoff wird die Probe bei 1050 °C verbrannt. Während der Verbrennung steigt die Temperatur aufgrund der bei der Verbrennung der Zinnfolien-Verkapselung der Probe kurzfristig frei werdenden Verbrennungswärme, lokal auf 1800 °C [Kattner, 2009]. Als Verbrennungsprodukte entstehen CO₂, N₂, verschiedene Stickoxide, Halogene und Schwefelverbindungen. Das versilberte Kobaltoxid dient dem Abfangen der Halogene und der Schwefelverbindungen, welche die Analyse stören würden. Das CO₂, der N₂ und die Stickoxide werden mit dem hochreinen Helium-Trärgas weiter getragen. An das Verbrennungsrohr schließt sich die Reduktionssäule an, die vollständig mit Kupfer (Draht und Späne) gefüllt und mit Quarzwolle verschlossen ist. Die Temperatur der Reduktionssäule beträgt etwa 680 °C. Das heiße Kupfer reduziert die Stickoxide in der Reduktionssäule zu elementarem Stickstoff und bindet überschüssigen, unverbrauchten Sauerstoff [Ehrhardt et al., 1999]. Die übrigen Verbrennungsprodukte Kohlendioxid und Stickstoff werden im temperaturgeregelten Ofen bei ca. 50 °C gaschromatographisch getrennt und durch den Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) quantifiziert [Ehrhardt et al., 1999]. Der Stickstoff gelangt unverzüglich durch alle drei Säulen, so dass er als erstes Signal der Komponenten am WLD detektiert wird. WLD sind sehr empfindlich gegenüber dem Restwasserdampf im Trärgasstrom, so dass Spuren von Wasserdampf in einer Wasserfalle, die mit Magnesiumperchlorat gefüllt ist, aus dem Gasstrom extrahiert werden. Eine Störung der Messung durch Wasserdampf wird so vermieden [Wurl et al., 2009].

Nach einer definierten Probenanzahl werden die verschiedenen Säulen erneuert. Diese Geräteparameter sind in Tabelle 11 aufgezeigt.

Tabelle 11: Anzahl an Probeninjektionen, nach denen ein Wechsel bestimmter Geräteteile notwendig ist (Counter limits).

| Gerätebauteil | Anzahl an Proben, nach denen ein Wechsel notwendig ist (Counter limits) |
|---|---|
| Wasserfilter | 150 |
| Aschefinger | 60 (nach jedem Messtag) |
| Reduktionsrohr (rear reactor injections) | 360 |
| Oxidationsrohr (front reactor injections) | 550 |
| Gaschromatographen Säule | Unbegrenzte Probenzahl |

3.3.2.3 Blank POC/PON

Die vom Computer ausgegebenen Daten müssen im Anschluss Blank-korrigiert werden: Der Blank wird bestimmt durch die Analyse von Leerfiltern. Diese unbenutzten Filter werden den gleichen Vorbereitungsschritten wie die Proben-Filter unterworfen. Der Mittelwert der Analyse dieser Filter wird von den Proben-Ergebnissen abgezogen, wodurch die auf den Filtern vorhandenen Verunreinigungen und Artefakte der Methode einbezogen werden.

Zusätzliche Beiträge zum analytischen Signal der Probe können verursacht werden durch:

- Staub in Wasserproben, Flaschen, etc. durch ungenügende Reinigung;
- Kontaminierte Filter, z.B. durch Hautkontakt oder Staubpartikel;
- Kontamination der Zinnschiffchen;
- Schlechte Qualität des He-Trärgases und des Sauerstoffs [Ehrhardt et al., 1999].

In der Regel sollten mindestens drei unbenutzte Filter am Tag (alle 40 Proben) analysiert werden, um die Methoden-Kohlenstoff- und Stickstoff-Blankwerte, sowie die Standardabweichungen aus ihrem Mittelwert zu bestimmen. Die Methoden-Blankwerte werden aus dem Ordinatenabschnitt der Kalibriergradengleichung, aus der Beziehung zwischen den Peakflächen und der Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff in der Standardsubstanz, bestimmt (vgl. Kapitel 3.3.2.4) [Ehrhardt et al., 1999].

3.3.2.4 Kalibrierung und Standards POC/PON

Die Kalibrierung erfolgt täglich mit einem hochreinen Acetanilid-Standard, der ein C : N-Verhältnis von 7:1 hat (Kohlenstoffanteil: 71,09 %, Stickstoffanteil: 10,36 %), was ähnlich dem durchschnittlichen Verhältnis von natürlich auftretendem partikulärem Material in Meerwasser ist [Ehrhardt et al., 1999]. Weiterhin wird ein sogenannter Bodenstandard verwendet, welcher 0,216 % Stickstoff und 3,5 % Kohlenstoff enthält, um auch im niedrigen Konzentrationsbereich zu kalibrieren. Die Standards werden in einem Exsikkator gelagert und direkt in Zinnhülsen eingewogen, wie es in Tabelle 12 aufgeführt ist.

Tabelle 12: Probenfolge der täglichen Kalibrierung des CN-EuroEA-Elementanalysators mit Acetanilid und Bodenstandards und die entsprechenden enthaltenen Massen an Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N).

| Standardsubstanz | Anzahl der einzuwiegenden Standards | Einwaage [mg] | Masse N [µg] | Masse C [µg] |
|------------------|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Acetanilid | 1 | 0,1 | 10,4 | 71,1 |
| Acetanilid | 1 | 0,2 | 20,7 | 142,2 |
| Acetanilid | 1 | 0,3 | 31,1 | 213,3 |
| Acetanilid | 2 + alle 10 Proben: 1x | 0,5 | 51,8 | 355,5 |
| Bodenstandard | 2 | 2 | 4,32 | 70 |
| Bodenstandard | 2 | 4 | 8,64 | 140 |

Die Zinnhülsen werden mit der so genannten Kralle verschlossen und unter den gleichen Bedingungen analysiert wie die Proben. Die eingesetzten Acetanilid- und Bodenstandard-Mengen entsprechen den allgemein zu erwartenden Kohlenstoff- und Stickstoffkonzentrationen in den partikulären Proben.

Als Ergebnisse der Analysen werden die Flächen der Chromatogrammpeaks („Area N“ bzw. „Area C“) angegeben. Aus den Flächen wird mit Hilfe der bekannten Einwaage der Standards die tatsächliche Menge µg C bzw. µg N pro Einwaage über eine Regression berechnet.

Der Achsenabschnitt der linearen Regressionskalibriergerade beschreibt den instrumentellen Blankwert. Die Steigung gibt die Beständigkeit des Messgerätes an. Typische Werte für das Bestimmtheitsmaß lagen für die einzelnen Kalibrationen bei $R^2 > 0,998$ für POC und PON. Beispielhafte lineare Regressionen einer POC / PON-Kalibration sind in Abbildung 28 und 29 dargestellt und die dazu gehörigen Werte sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Daten der POC-und PON-Kalibrierung mit Acetanilid und Bodenstandard.

| Probenname | Soll-einwaage [µg] | Einwaage [µg] | Area N | µg N/ Einwaage | Area C | µg C/ Einwaage |
|------------|--------------------|---------------|--------|----------------|--------|----------------|
| Acetanilid | 0,1 | 0,108 | 2632 | 11,2 | 49807 | 76,8 |
| Acetanilid | 0,2 | 0,197 | 4485 | 20,4 | 89361 | 140 |
| Acetanilid | 0,3 | 0,309 | 7018 | 32 | 141813 | 219,7 |
| Acetanilid | 0,5 | 0,513 | 11654 | 53,1 | 234291 | 364,7 |
| Boden Std | 2 | 2,166 | 1034 | 4,68 | 47829 | 75,8 |
| Boden Std | 2 | 2,117 | 1046 | 4,57 | 45477 | 74,1 |
| Boden Std | 4 | 3,911 | 3856 | 8,45 | 178922 | 136,9 |

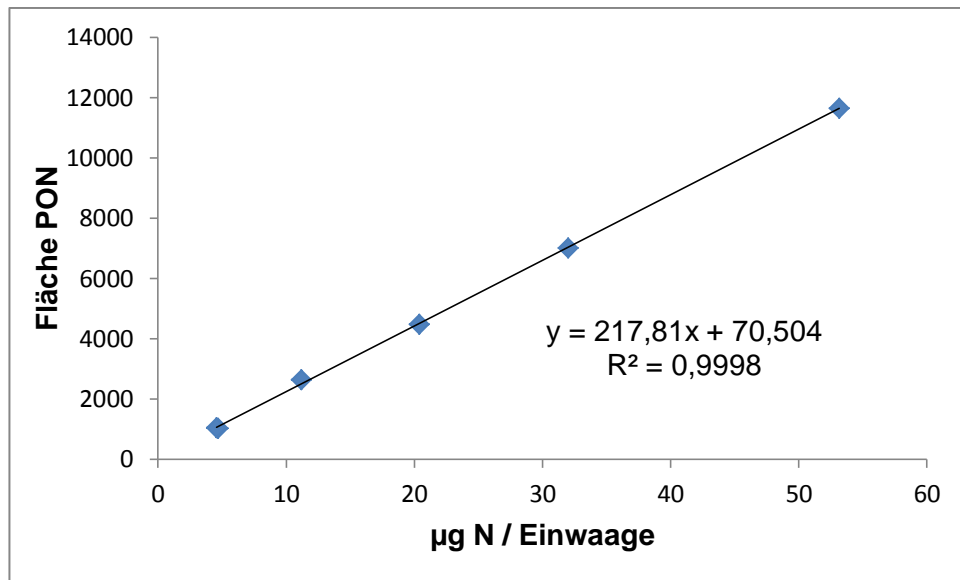


Abb. 28: Beispiel einer PON-Kalibration mit Acetanilid und Bodenstandard.

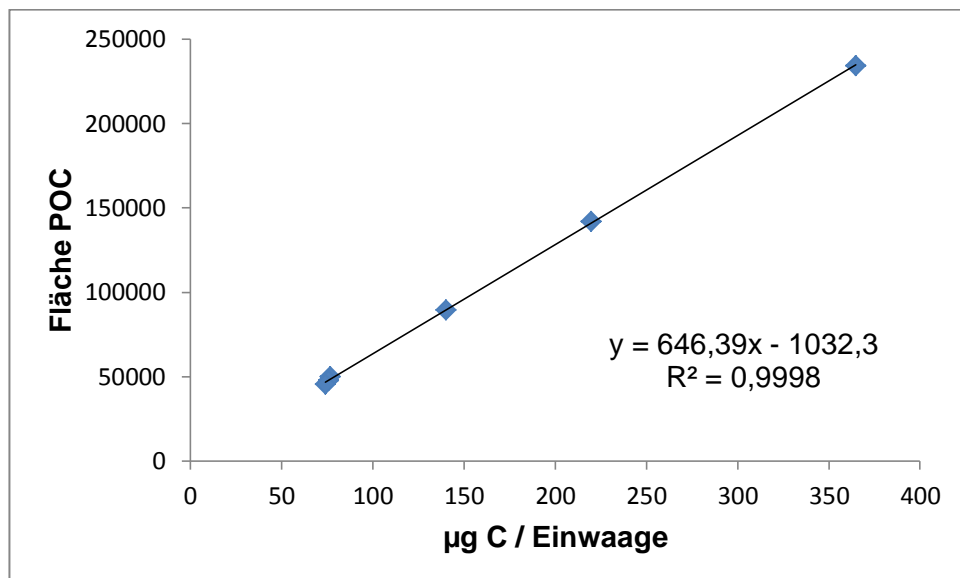


Abb. 29: Beispiel einer POC-Kalibration mit Acetanilid und Bodenstandard.

Der mittlere Standardfehler für die Steigung der PON-Kalibrierung beträgt 1,86 % und der mittlere Standardfehler für die Steigung der POC-Kalibrierung liegt bei ca. 1,32 %. Mit jeweils vier Acetanilid- und Boden-Standards werden relativ wenige Daten für die Bestimmung eines Standardfehlers herangezogen, dennoch sind die resultierenden Standardfehler klein und demnach sind jeweils vier Standardeinwaagen für die tägliche Kalibration mit einer geringen Varianz mehr als ausreichend.

Die POC- bzw. PON-Konzentrationen der Proben werden ermittelt, indem von den bekannten Flächen der Proben-Chromatogrammpeaks die gemittelte integrierte Fläche des Blank-Filters abgezogen werden. Die erhaltenen Werte (x-Werte) werden in die Geradengleichung der je-

weiligen Kalibrierung eingesetzt und so wird der Gehalt der Proben in $\mu\text{g C}$ bzw. $\mu\text{g N}$ (y-Werte) rechnerisch ermittelt. Die Ergebnisse der Analysen sind im Anhang tabellarisch aufgeführt.

3.3.2.5 Qualitätskontrolle POC/PON

In regelmäßigen Intervallen (alle 10 bis 12 Proben) wird ein 0,5 mg Acetanilidstandard gemessen, um einen einwandfreien Analysenbetrieb zu gewährleisten. Ein Drift des Geräts während eines Messlaufs wäre dadurch erkennbar und ein möglicher linearer Trend ließe sich in die Auswertung einbeziehen. Während der Messungen der Proben im Rahmen dieser Arbeit ließ sich kein signifikanter Drift der Messwerte der Acetanilidstandards feststellen, so dass keine lineare Korrektur der Ergebnisse vorgenommen wurde.

3.3.2.6 Fehlerbetrachtung POC/PON

Die Nachweisgrenze des CN-EuroEA-Elementanalysators der Firma HEKAtech GmbH liegt laut Herstellerangabe bei ca. $12 \mu\text{g}$ bzw. $1 \mu\text{mol C}$. Der Wiegefehler beim Abwiegen der Standardsubstanzen beträgt $\pm 0,001 \mu\text{g}$ und demnach maximal 1 % für die Einwaage des ersten Acetanilidstandards (0,1 mg) und liegt entsprechend niedriger für die höheren Einwaagen. Der Wägefehler ist vernachlässigbar klein und liegt unterhalb der Nachweisgrenze des Systems.

Ein möglicher Fehler, der bei der Präparation der Zinn-POC / PON-Probepellets auftreten kann, ist ein zu starkes Pressen der Zinn-Filterrollen mit Hilfe des Stempels. Gegebenenfalls können hierbei die gepressten Zinn-Probenkugeln aufplatzen und so geht Filtermaterial und die darauf befindliche Probe verloren. Dieses sollte durch sorgfältige Probenvorbereitung vermieden werden. Während der POC / PON-Probenanalyse kann es weiterhin zu fehlerhaften Ergebnissen kommen, wenn der Wasserdampf nicht vollständig aus dem Proben-gasstrom entfernt wurde, da dieser den Detektor stört. Eine regelmäßige Erneuerung der Wasserfalle, wie auch der anderen Gerätesäulen ist daher notwendig.

Der größte Fehler, der bei der Messung von partikulärem organischem Kohlenstoff und Stickstoff entstehen kann, ist die Kontamination der Probenfilter und der Zinnschiffchen. Dieser Fehler kann minimiert werden, durch eine gründliche Reinigung der Probengefäße und durch das dauerhafte Tragen von Handschuhen während dem Glühen der Filter, der Probenahme und der anschließenden Probenpräparation durch das Arbeiten mit sauberen Pinzetten auf Spiegeln. Die hier aufgeführten Fehlerquellen lassen sich schwer abschätzen, jedoch liegt der instrumentelle Fehler bei ca. 1 % C bzw. N bei der Bestimmung von POC und PON [Kattner, 2009]. Aus dem mittleren Standardfehler der Kalibrationen ergibt sich darüber hinaus ein mittlerer Fehler von $\pm 1,73 \mu\text{mol kg}^{-1}$ für C und $\pm 0,63 \mu\text{mol kg}^{-1}$ für N.

4 Ergebnisse und Diskussion

Neben den in dieser Arbeit analysierten TOC / TN- und POC / PON-Proben wurden während der M/V Atlantic Companion Fahrten weitere Parameter beprobt und an Land bestimmt. Hierzu zählen die Daten der Nährstoffe (Nitrat NO_3^- , Nitrit NO_2^- , Phosphat PO_4^{3-}) welche, ebenso wie die Temperatur- und Salinitäts-Daten, zur Auswertung der DOC-Werte herangezogen werden. Die TOC-Daten, wie auch die POC / PON-Daten werden manuell ausgewertet und für jeden Messtag einzeln untersucht. Die Daten werden geflaggt (gut, suspekt oder schlecht) und nur die mit „gut“ benannten Daten werden verwendet.

4.1 Einteilung des Fahrtengebiets

Abbildung 30 zeigt die Fahrten der M/V Atlantic Companion von Oktober 2011 bis Oktober 2012, wobei hier nur die Daten zwischen 11,5 °W und 53,5 °W, sowie nur die Positionen der vollständigen Probennahmen (alle Parameter beprobt, einschließlich TOC und POC) dargestellt sind.

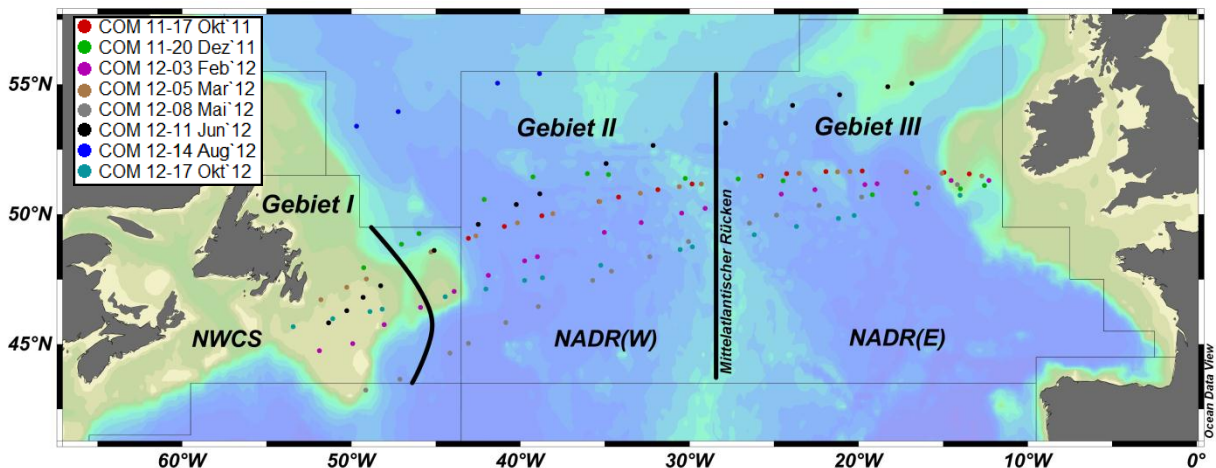


Abb. 30: Lage der TOC / DOC-Probennahmen (nur zwischen 12,3 °W und 53,5 °W gezeigt) und die Einteilung des Nordatlantiks in drei Gebiete analog zu der Unterteilung des Nordatlantiks in biogeochemische Provinzen nach [Longhurst, 1998] (NADR: North Atlantic Drift, NWCS: Northwest Atlantic Continental Shelf) mit einer Unterteilung des NADR in West (W) und Ost (E) durch den Mittelatlantischen Rücken.

Die Daten wurden analog der Einteilung des Nordatlantiks in biogeochemische Provinzen nach Longhurst [1998] in drei Gebiete unterteilt (vgl. Abbildung 30 und Tabelle 14) um eine Vermischung des saisonalen mit dem regionalen Signal, aufgrund der Weite des beprobten Gebietes, zu minimieren. Die von Longhurst [1998] beschriebene NADR wird hierbei in ein östliches (E) und westliches Gebiet (W) gegliedert (vgl. Lüger *et al.* [2004], Steinhoff [2004]), wobei die Grenze bei 29 °W der etwaigen Lage des Mittelatlantischen Rückens in diesem Bereich entspricht.

Tabelle 14: Einteilung des Nordatlantiks und der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten in drei Gebiete analog zu *Longhurst* [1998] mit einer Unterteilung des NADR in West (W) und Ost (E) durch den Mittelatlantischen Rücken.

| Gebiet | Biogeochemische Provinz nach <i>Longhurst</i> [1998] | Abgrenzung Longitude [°W] | Abgrenzung Latitude [°N] |
|--------|--|---------------------------|--------------------------|
| I | NWCS | 53,5 – 43,5 | 43,5 – 49,5 |
| II | NADR (W) | 43,5 – 28,5 | 43,5 – 55,5 |
| III | NADR (E) | 28,5 – 11,5 | 43,5 – 57,5 |

Die Daten, die im Folgenden gezeigt werden, entsprechen Mittelwerten, welche zunächst für jede Fahrt und dann in Unterteilung nach den drei Gebieten ermittelt wurden. Die eingezeichneten Fehlerbalken entsprechen den mittleren Standardabweichungen. Der vollständige Datensatz findet sich im Anhang. Die gepunkteten Linien in den nachfolgenden Abbildungen stellen den abgeschätzten Jahresgang des jeweiligen Parameters dar.

4.2 Temperatur, Salinität und Oberflächenströmungen

Zunächst wurden die Temperatur- und Salinitäts-Daten aller Stationen betrachtet, um die Stationen in Gebiete zu unterteilen und die grobe Einteilung nach *Longhurst* [1998] zu verfeinern.

Für die ersten drei Fahrten (Oktober 2011, Dezember 2011, Februar 2012) liegen keine in-situ SSS Daten vor, so dass unter anderem für die Berechnung der Dichte das Heranziehen von klimatologischen Salinitäts-Daten notwendig war. Die zugrunde liegende Klimatologie ist die ODV (Ocean Data View, odv.awi.de) Version des World Ocean Atlas (WOA) 2009, deren Daten auf 1° x 1° gerastert sind. Es wurden die Salinitäts-Daten für jede einzelne Station berechnet, indem ein gewichteter Mittelwert, je nach Lage der Station innerhalb eines 1° x 1° Feldes, gebildet wurde. Für die Verifizierung der verwendeten klimatologischen Daten wurden auch die Werte für die Fahrten ermittelt, für welche in-situ Daten vorliegen und diese miteinander verglichen.

Aus der WOA-Klimatologie wurden, ebenfalls nach der gleichen Vorgehensweise, Temperaturdaten entnommen, um die gemittelten Messdaten zu verifizieren. Sowohl die in-situ Daten (rot, Mittelwerte: blau), als auch die Daten der Klimatologie (gelb für die SSS-Daten, Mittelwerte: grün) sind in den Abbildungen 31 und 32 dargestellt.

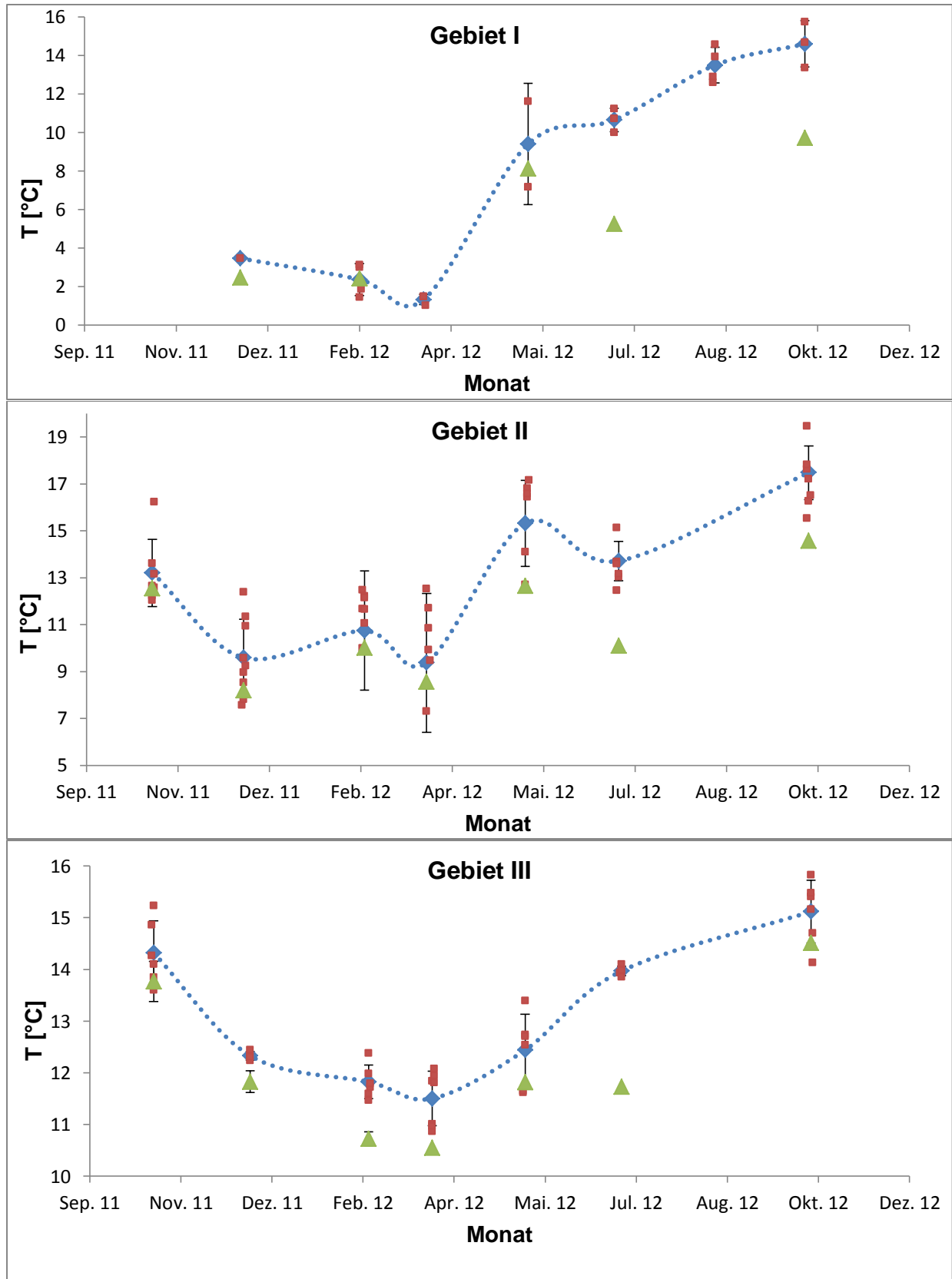


Abb. 31: Temperatur des Oberflächenwassers des Nordatlantiks im Jahresgang von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Die Fehlerbalken sind die Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: in-situ Daten; blau: Mittelwerte der in-situ Daten; grün: Mittelwerte der klimatologischen Daten. Gestrichelte Linie: abgeschätzter Jahresgang.

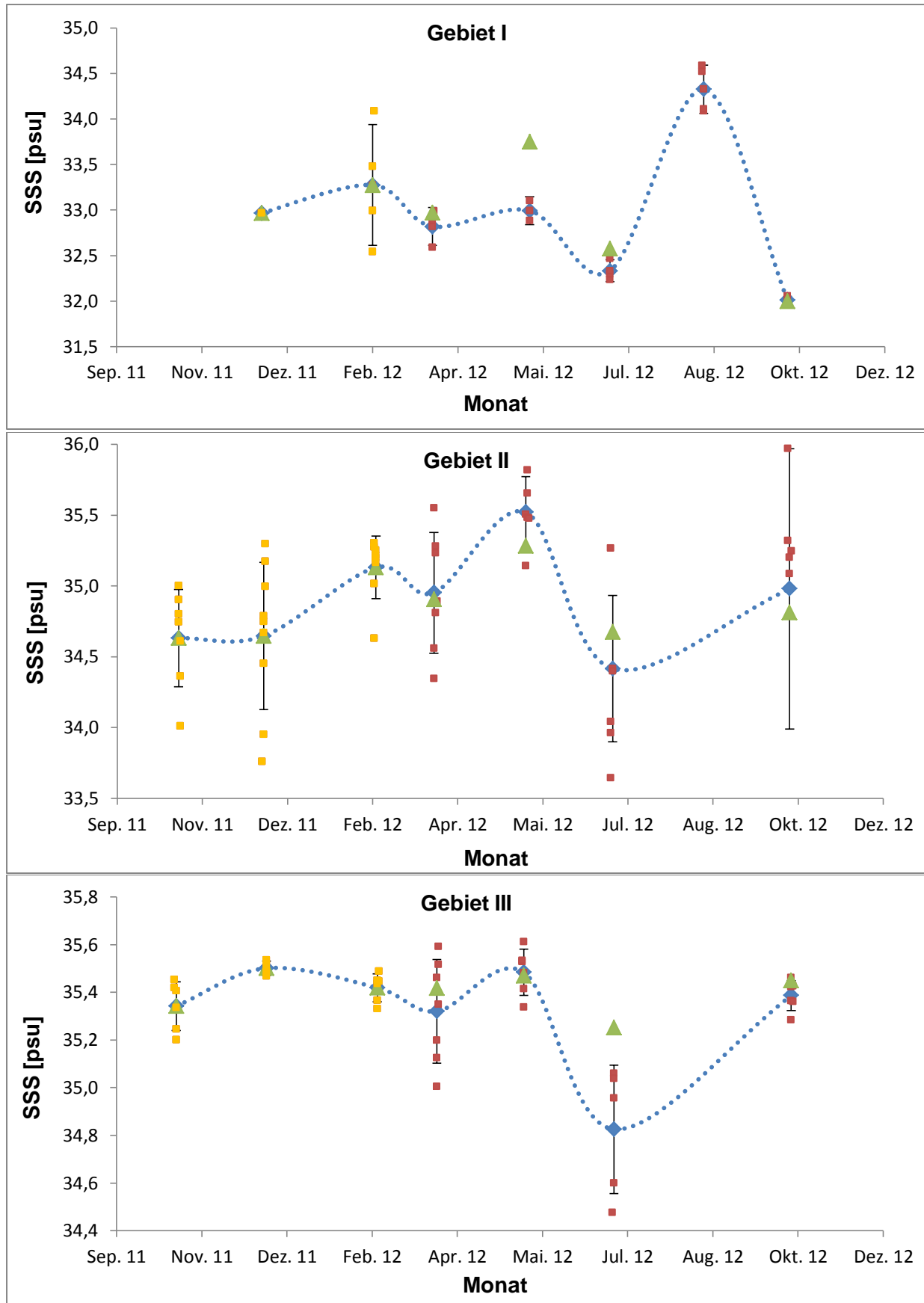


Abb. 32: Salinität des Oberflächenwassers des Nordatlantiks im Jahresgang von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Die Fehlerbalken sind die Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: in-situ Daten; gelb: klimatologische Daten; blau: Mittelwerte der in-situ Daten; grün: Mittelwerte der klimatologischen Daten. Gestrichelte Linie: abgeschätzter Jahresgang.

Abbildung 31 und 32 zeigen, dass die in-situ Daten in guter Übereinstimmung stehen mit den berechneten Daten aus der WOA-Klimatologie. Die größte Abweichung liegt für die Temperatur bei 55 % und bei den Salinitäts-Werten bei 2,3 %, beide im Gebiet I. Auffällig ist, dass die größten Abweichungen der Temperaturen in allen drei Gebieten im Juni zu finden sind. Die durchschnittliche Abweichung beträgt 22 % bei den Temperaturdaten und 0,5 % bei den Salinitäts-Daten. Diese geringe Salinitäts-Abweichung macht die Verwendung der klimatologischen Daten für die ersten drei Fahrten zulässig. Die teilweise erheblichen Abweichungen in den Temperaturdaten, vor allem in Gebiet I, lassen sich durch die hohe Variabilität des LC und des GS, sowie durch das Vorhandensein von Eddies erklären.

In allen drei Gebieten lässt sich ein typischer Temperaturjahresgang mit einem Minimum im Winter (Februar, März) und einem Maximum im Sommer erkennen. Die Variabilität ist in Gebiet I am größten. Die Temperaturdifferenz zwischen winterlichem Minimum und sommerlichem Maximum beträgt im ersten Gebiet 12,2 °C. Diese Beobachtung deckt sich mit den von *Tchernia* [1980] berichteten saisonalen Temperaturamplituden von ca. 13 °C in der NWCS-Provinz. In Gebiet II liegt der Unterschied bei 8,1 °C und im Gebiet III bei 3,6 °C.

In dem T/S-Diagramm in Abbildung 33 sind alle Daten der Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012, bei denen eine vollständige Beprobung stattfand, dargestellt.

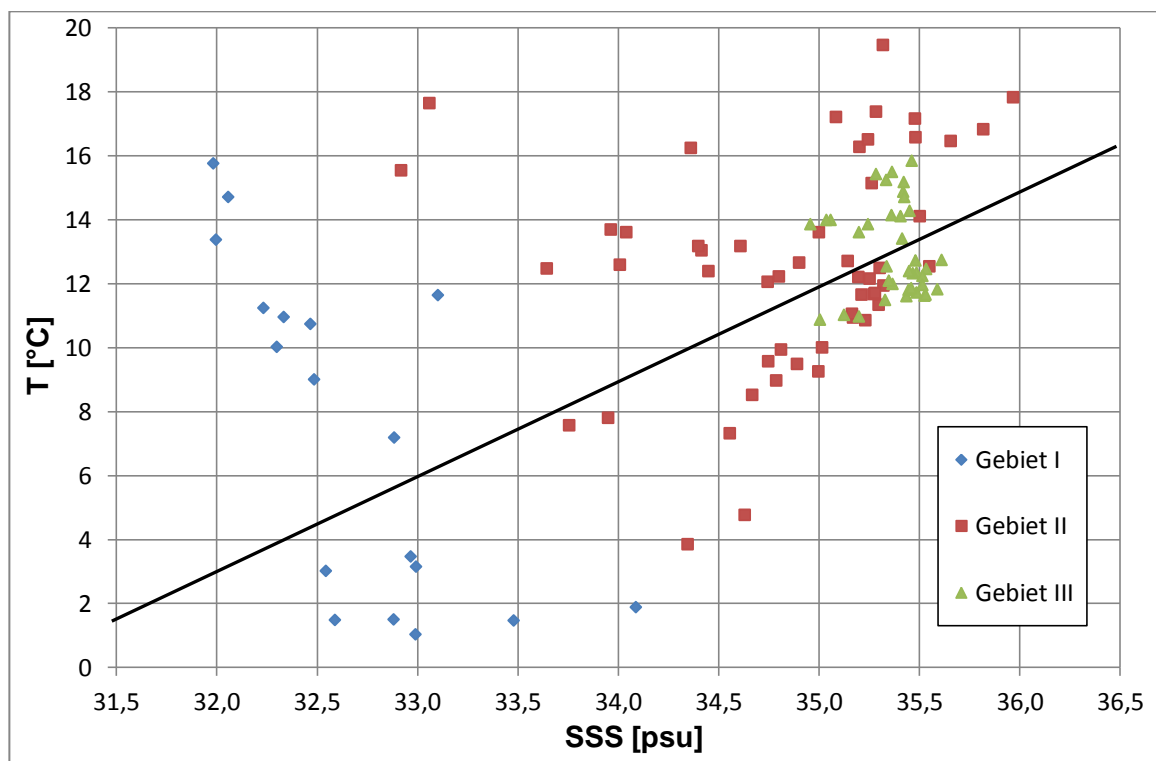


Abb. 33: T/S-Diagramm aller Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012, bei denen eine vollständige Beprobung stattfand. Die schwarze Linie stellt eine Abgrenzung der beiden zu erkennenden Zweige dar.

Es sind zwei Zweige zu erkennen, welche durch die eingezeichnete schwarze Linie voneinander separiert werden. Der obere Zweig zeichnet sich durch höhere Temperaturen aus (9 bis 20°C) im Vergleich zu dem unteren Zweig, welcher wesentlich niedrigere Temperaturen zeigt (1 bis 12°C). Die Salinitäts-Werte liegen beim oberen Zweig zwischen 32,0 und 36,0 und bei dem unteren Zweig zwischen 32,5 und 35,6.

Auffällig ist, dass die Daten in Gebiet I (blau) sehr weit streuen (SSS: 32,0 bis 34,1 psu; T: 1 bis 16°C) und die Daten im Gebiet III (grün; SSS: 34,9 bis 35,7 psu; T: 10,5 bis 16°C) am wenigsten weit auseinander liegen. Die Streuung der Daten des Gebietes II (rot) ist am größten: Die Salinität liegt in einem Bereich von 32,8 bis 36 und die Temperatur variiert von 4 bis 19,5°C.

Die generelle Oberflächentemperaturverteilung des Atlantiks ist nicht nur eng an den Breitengrad gebunden, sondern auch mit den Oberflächenströmungen verknüpft [Tchernia, 1980]. Weiterhin sind die saisonalen Variationen, vor allem in den gemäßigten Zonen, speziell zwischen 30 °N und 50 °N, stark ausgeprägt, so dass an der Nordostküste Amerikas bis nach Neufundland durch kontinentale Einflüsse jährliche Variationen um bis zu 15 - 18 °C zu verzeichnen sind [Tchernia, 1980].

Die klassische Verteilung der Salinitäten als eine Funktion des Breitengrades wird im Atlantik ebenfalls vor allem durch das Strömungssystem verändert, aber auch durch die Nähe zur Landmasse und in einigen Gebieten durch die Menge des Flusseintrages [Tchernia, 1980]. Südlich von Grand Banks ausgehend, Richtung Norden zwischen Island und Grönland verlaufend, liegt eine Isohaline mit einer Salinität von 35 und der äußerste Nordwesten des Nordatlantiks ist eingenommen von kaltem und vergleichsweise frischem Wasser, welches aus dem polaren Becken stammt [Tchernia, 1980].

Um zunächst den saisonalen Einfluss zu veranschaulichen, wurden in Abbildung 34 die Temperatur- und Salinitäts-Daten der einzelnen Fahrten aufgetragen und die entsprechenden Regressionsgeraden eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Temperaturdaten stark saisonal bedingt sind. Während die beiden Fahrten im Oktober 2011 und 2012, sowie im Juni 2012 den oberen, wärmeren Zweig der des T/S-Diagramms (Abbildung 33) bilden, handelt es sich bei dem unteren Zweig um Daten aus den kalten Wintermonaten Dezember 2011, Februar und März 2012. Die in Abbildung 33 eingezeichnete Trennlinie zwischen den beiden T/S-Zweigen fällt hier zusammen mit den Daten der frühlommerlichen Fahrt im Mai 2012. Es ist weiterhin zu erkennen, dass die niedrigsten Temperaturen und Salinitäten im März zu verzeichnen sind und die höchsten Temperatur- und Salinitäts-Werte während der Fahrt im Oktober 2012, sowie im Mai 2012 gemessen wurden. Bei den Fahrten im Mai und im Oktober handelt es sich um die beiden südlichsten der insgesamt sieben Fahrten und diese liegen damit im Einflussbereich des Golfstroms, welcher im Sommer stärker ausgeprägt ist,

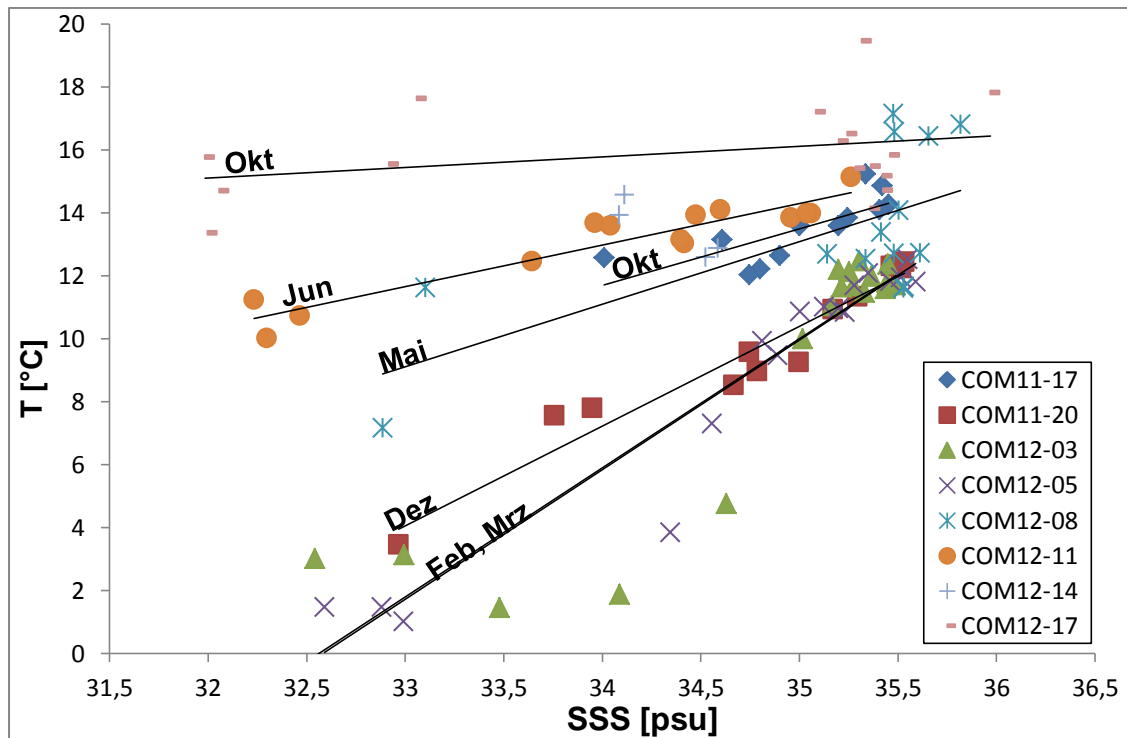


Abb. 34: T/S-Diagramm aller Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012, bei denen eine vollständige Beprobung stattfand. Die schwarzen Linien stellen Regressionsgeraden der jeweiligen Fahrten dar und zeigen die Saisonalität.

wohingegen die Fahrt im März eine der nördlichsten ist und damit im Westen verstärkt durch den Labradorstrom, welcher im Winter stärker ausgeprägt ist, beeinflusst wird.

Je weiter polwärts die Betrachtung im westlichen Teil des Nordatlantiks erfolgt, desto niedriger die SSS-Werte, vor allem bedingt durch den Frischwassereintrag von Gletschern und Eisbergen und die Verknüpfung mit der Advektion durch den Labradorstrom [Tomczak et al., 1994]. Hierdurch entsteht eine scharfe Salinitätsgrenze zwischen Labradorstrom und dem Golfstromsystem [Tomczak et al., 1994].

Neben den saisonalen Einflüssen, ist das regionale Signal demnach von großer Bedeutung. Da hydrographische Daten als Indikatoren für die Ausbreitung von Wassermassen dienen, macht die Kombination aus Abbildung 33 und 34 deutlich, dass in den Gebieten I, II und III unterschiedliche Oberflächenströmungen einen Einfluss haben.

Während es sich bei Gebiet I um die Schelfregion Grand Banks vor Neufundland (NWCS) handelt, haben vor allem im östlichen Bereich des Gebietes II an der Schelfkante, sowohl der aus dem Nordwesten kommende Labradorstrom, als auch der Golfstrom (vgl. Abbildung 35) einen starken saisonalen Einfluss auf die Wassermassencharakteristik (im Winter größerer Einfluss des LC, im Sommer stärkere Einträge durch den GS) und in Gebiet III dominiert der Nordatlantische Strom.

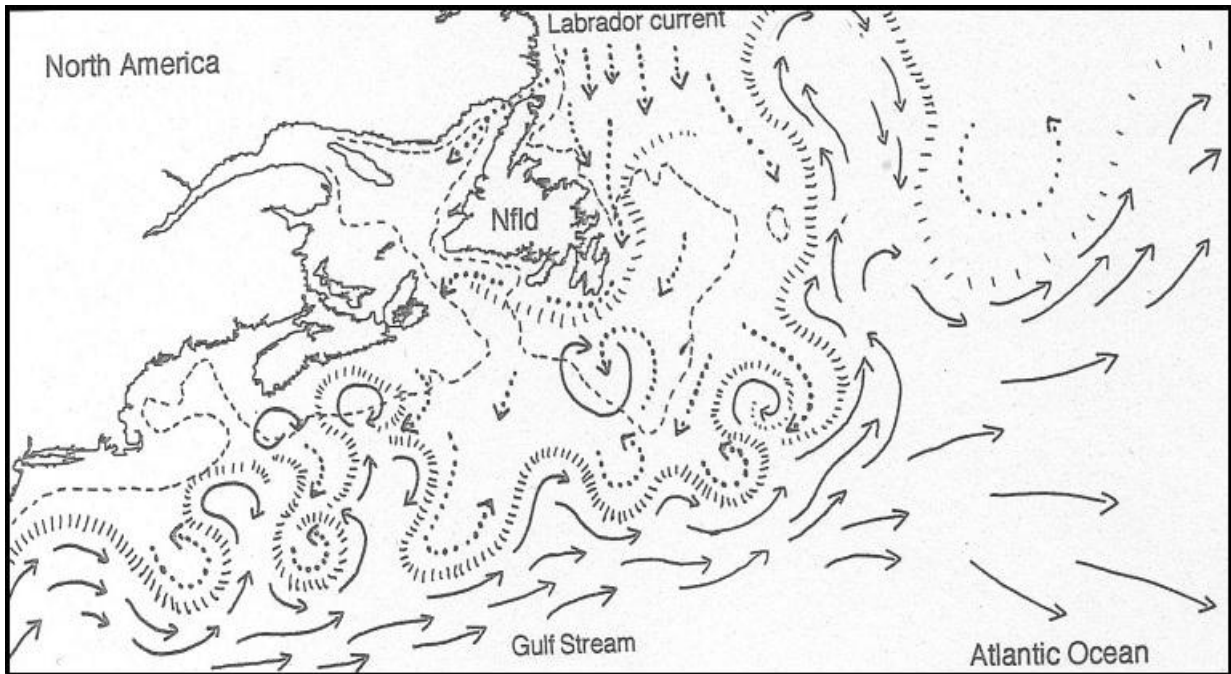


Abb. 35: Oberflächenströmungen im westlichen Nordatlantik: Das Zusammentreffen des kalten Labradorstroms (gepunktete Pfeile) mit dem warmen Golfstrom (durchgezogene Pfeile). Die gestrichelte Linie ist die 200 m-Isobathe; die schraffierte Linie repräsentiert die Front zwischen warmem und kaltem Wasser (nördliche Wand des Golfstroms). Zwischen dem Labradorwasser, welches das Schelf dominiert und dem Golfstrom liegt das gemischte Slope-Wasser [Longhurst, 1998].

Die breite Streuung der Temperatur- und Salinitätswerte in Gebiet I lassen sich erklären aufgrund der periodische Modifizierungen durch warm-kernige Eddies, die aus dem schleifenbildenden Golfstrom über das Außenschelf gelangen, die Instabilitäten und Jet-Strömungen im Schelfwasser verursachen und die mit Phytoplanktonblüten und Oberflächen-Chlorophyllanstiegen assoziiert werden [Longhurst, 1998].

Eine semipermanente Schleife des Golfstromwassers passiert regelmäßig das Neufundlandbecken, bevor es in östliche Richtung als NAD weiter fließt. Diese Schleife (vgl. Abbildung 35) ein so genannter „Ring-Meander“, schnürt gelegentlich mesoskalige Eddies ab, welche Warmwasserorganismen in den Norden (Labradorsee) transportieren und ist eine Besonderheit in den Oberflächenfeldern von Temperatur und zahlreichen biologischen Variablen [Longhurst, 1998]. Dieses Phänomen lässt sich in den gemessenen Daten in Gebiet II wieder finden. Das Gebiet II weist teilweise enorme Unterschiede in den Temperatur- und Salinitäts-Daten, wie auch in den organischen Kohlenstoffkonzentrationen innerhalb einer Fahrt bzw. in einem engen lokalen Feld auf.

4.3 Winterlicher Hintergrund

Für die Abschätzung eines saisonalen Trends ist es notwendig den winterlichen Hintergrund zu kennen. Dieser wurde für alle zu betrachtenden Parameter als Mittelwert aus den Daten der Wintermonate berechnet und ist in den jeweiligen Abbildungen im Folgenden durch eine schwarze gestrichelte Linie dargestellt. Für die einzelnen Gebiete und die verschiedenen Parameter wurden die Daten der in Tabelle 15 aufgeführten Monate für die Berechnung herangezogen und die ebenfalls in Tabelle 15 beschriebenen winterlichen Hintergrundwerte ermittelt.

Tabelle 15: Berechnung der winterlichen Hintergrundwerte aller zu betrachtenden Parameter gegliedert nach den Gebieten I bis III unter Angabe der verwendeten monatlichen Daten.

| Gebiet | Parameter | Monat | winterlicher Hintergrund [$\mu\text{mol kg}^{-1}$] |
|--------|--------------------|---------------|---|
| I | NO_3^- | Dez, Feb, Mrz | $6,9 \pm 1,1$ |
| | PO_4^{3-} | Dez, Feb, Mrz | $0,8 \pm 0,1$ |
| | TOC | Dez, Feb, Mrz | $70,15 \pm 1,38$ |
| | POC | Dez, Feb, Mrz | $7,46 \pm 0,88$ |
| | DOC | Dez, Feb, Mrz | $62,74 \pm 0,58$ |
| | PON | Dez, Feb, Mrz | $0,87 \pm 0,07$ |
| II | NO_3^- | Dez, Feb, Mrz | $11,0 \pm 4,7$ |
| | PO_4^{3-} | Dez, Feb, Mrz | $0,8 \pm 0,5$ |
| | TOC | Dez, Feb, Mrz | $70,82 \pm 4,88$ |
| | POC | Dez, Feb, Mrz | $5,94 \pm 1,61$ |
| | DOC | Feb, Mrz | $60,84 \pm 3,18$ |
| | PON | Dez, Feb, Mrz | $0,81 \pm 0,27$ |
| III | NO_3^- | Dez, Feb, Mrz | $8,8 \pm 0,7$ |
| | PO_4^{3-} | Dez, Feb, Mrz | $0,5 \pm 0,1$ |
| | TOC | Feb, Mrz | $65,60 \pm 3,73$ |
| | POC | Dez, Feb | $4,64 \pm 1,84$ |
| | DOC | Feb, Mrz | $59,54 \pm 0,14$ |
| | PON | Dez, Feb | $0,56 \pm 0,10$ |

Die gemittelten winterlichen Hintergrundwerte des DOC in den Gebieten I bis III entsprechen mit $62,74 \pm 0,58$ bis $59,54 \pm 0,14 \mu\text{mol kg}^{-1}$ den von *Hansell et al.* [2009] modellierten DOC-Daten im Oberflächenwasser des subpolaren Nordatlantiks ($z = 30 \text{ m}$; DOC ca. 55 bis $65 \mu\text{mol kg}^{-1}$; vgl. Abbildung 3) und die Werte liegen um 20 % höher, als die von *Hansell et al.* [2009] angegebenen jährlichen klimatologischen DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser des subpolaren Ozeans ($\sim 40 - 50 \mu\text{mol C kg}^{-1}$). Weiterhin stehen die Hintergrundwerte in guter Übereinstimmung mit den von *Steinhoff* [2004] ermittelten DOC-Hintergrundwerten im Nordatlantik. Diese lagen bei $58,3 \pm 3,2 \mu\text{mol kg}^{-1}$ im Westen (Gebiet I (*Steinhoff*): $35 - 60^\circ \text{W}$, $37 - 47^\circ \text{N}$) und $56,5 \pm 5,6 \mu\text{mol kg}^{-1}$ im Osten (Gebiet II und III (*Steinhoff*): $10 - 35^\circ \text{W}$, $41 - 51^\circ \text{N}$), wobei die Probenahme im Vergleich weiter südlich erfolgte.

4.4 Saisonalität von DOC

In Abbildung 36 sind die DOC-Konzentrationen in den Gebieten I, II und III dargestellt. In allen drei Gebieten zeigt DOC ein deutliches saisonales Maximum im späten Juni bzw. frühen Juli, mit einer relativ breiten Streuung der Messwerte in den Sommermonaten in Gebiet I und III. Dies zeigt die große Varianz des DOC aufgrund von regional unterschiedlichen DOC-Quellen- und Senken-Prozessen und aufgrund von so genannter „patchiness“, kleinskaliger Variabilität in den Konzentrationen. In den Winter- und Frühjahrsmonaten sind die mittleren Standardabweichungen in Gebiet I und III geringer, was bedeutet, dass im Anschluss an die produktive Saison ähnliche Hintergrundwerte erreicht werden (vgl. Kapitel 4.3). Weiterhin variieren die DOC-Werte in Gebiet I und III in den Wintermonaten kaum.

In Gebiet II liegt eine breitere Streuung auch in den Wintermonaten vor. Diese lässt sich aufgrund der bereits beschriebenen großen Dynamik im Oberflächenwasser des Gebietes II (z.B. Eddies und Schleifen) und aufgrund der resultierenden patchiness erklären.

Die saisonale DOC-Amplitude umfasst etwa $16,5 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet I, $19,9 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet II, und in Gebiet III beträgt diese $35,7 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Es ist demnach ein Ost-West-Trend zu erkennen, der sich durch steigende saisonale DOC-Amplituden von West nach Ost auszeichnet.

Auffällig in Gebiet II und III ist, dass die DOC-Konzentrationen im Oktober und Dezember 2011 ein zweites kleines Maximum zeigen. Erst im Februar werden die winterlichen Hintergrundwerte wieder erreicht. Die erhöhten Werte lassen sich eventuell durch erhöhte Solubilisierungsraten des partikulären Materials nach der Produktionsphase im Sommer erklären. Dadurch gelangt vermehrt DOC in den DOM-Pool zurück.

Nach dem sommerlichen Maximum von ca. $81 \mu\text{mol kg}^{-1}$ DOC in Gebiet II bzw. $95 \mu\text{mol kg}^{-1}$ DOC in Gebiet III, wird im Oktober der winterliche Hintergrundwert wieder erreicht.

In Gebiet I variieren die DOC-Konzentrationen im Winter und im Frühjahr wenig, bis im Mai ein schneller Anstieg erfolgt. Ein Maximum von ca. $79 \mu\text{mol kg}^{-1}$ DOC wird durchlaufen und es erfolgt eine schnelle Abnahme in den Konzentrationen, so dass bereits im August ein Minimum in den Konzentrationen erreicht wird. Im Oktober liegen erneut erhöhte Konzentrationen vor. Hier ist zu beachten, dass es sich bei der Fahrt im August um eine sehr weit nördlich gelegene Fahrtroute handelt. Die Werte enthalten, im Vergleich zu den übrigen sieben Fahrten, welche weniger weit auseinander liegen, ein stark regionales Signal.

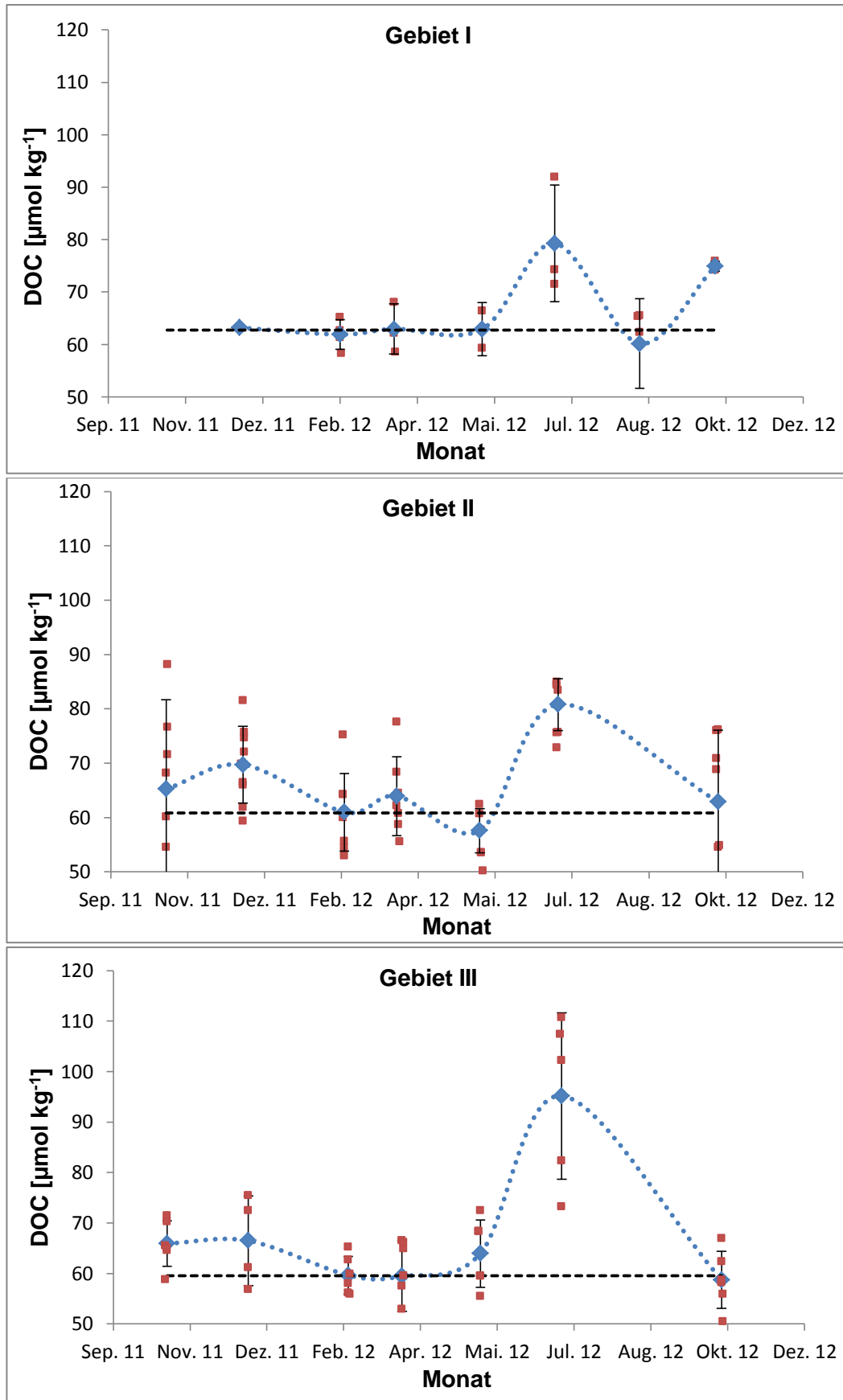


Abb. 36: Saisonaler Zyklus von DOC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.

4.5 Saisonalität von POC und PON

Die Jahresgänge im POC und im PON sind in den Abbildungen 37 und 38 für die drei Gebiete dargestellt. Auffällig ist zunächst, dass sich die jährlichen Verläufe von POC und PON in den jeweiligen Gebieten entsprechen.

Die POC und PON Jahresgänge in Gebiet II und III ähneln sich sehr stark und weisen jeweils ein erstes Maximum im Oktober 2011 auf. Hierbei handelt es sich vermutlich um eine Herbstblüte. Im Winter (Dezember bis März) werden die Hintergrundwerte erreicht und ein Minimum in den POC- und PON-Konzentrationen wird durchlaufen. Ein zweites, ausgeprägteres POC- bzw. PON-Maximum wird in Gebiet II im Mai und in Gebiet III Ende Juni erreicht. Diese Maxima entsprechen der Frühjahrsblüte. Anschließend fallen die POC-Konzentrationen etwas langsamer ab, als die PON-Werte.

Gebiet I zeichnet sich durch ein ausgeprägtes POC / PON-Maximum im August, sowie erhöhte Konzentrationen bereits im Mai aus. Hierbei gilt wiederum zu bedenken, dass es sich bei der Fahrt im August um eine sehr nördlich gelegene Fahrt handelt. Des Weiteren liegen keine POC / PON-Daten für Oktober 2011 im Gebiet I vor, es ist jedoch erkenntlich, dass die Konzentrationen im Anschluss an die sommerliche Blüte zum Herbst hin wieder abfallen (Oktober 2012).

Auffällig ist, dass in allen drei Gebieten eine relativ breite Streuung der POC- und PON-Messwerte vorliegt, sobald ein Maximum durchlaufen wird. Dies zeigt die große regionale Varianz des POC und PON. Diese patchiness in den Konzentrationen entspricht dem „Flickenteppich“ der Primärproduktion, welcher entlang einer Fahrtroute durchfahren wird.

Weiterhin variieren die POC- und PON-Werte in allen drei Gebieten in den Winter- und Frühjahrsmonaten kaum (geringe Standardabweichungen), so dass im Winter uniforme POM-Hintergrundkonzentrationen im Oberflächenwasser des Nordatlantiks vorliegen. Nach dem sommerlichen Maximum von ca. $25,64 \mu\text{mol kg}^{-1}$ POC und $3,67 \mu\text{mol kg}^{-1}$ PON in Gebiet II und $27,42 \mu\text{mol kg}^{-1}$ POC und $3,97 \mu\text{mol kg}^{-1}$ PON in Gebiet III wird im Dezember der jeweilige winterliche Hintergrundwert wieder erreicht. In Gebiet I erfolgt im Mai ein allmählicher Anstieg in den Konzentrationen und ein Maximum von ca. $21,0 \mu\text{mol kg}^{-1}$ POC bzw. von ca. $2,25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ PON wird durchlaufen. Die saisonale POC-Amplitude beträgt ca. $13,54 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet I, etwa $19,70 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet II, und in Gebiet III beträgt diese $22,78 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Die maximale PON-Amplitude umfasst etwa $1,38 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet I, ca. $2,87 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet II, und $3,41 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet III. Es ist demnach auch für das partikuläre Material ein Ost-West-Trend zu erkennen, der sich durch steigende saisonale POC- und PON-Amplituden von West nach Ost auszeichnet.

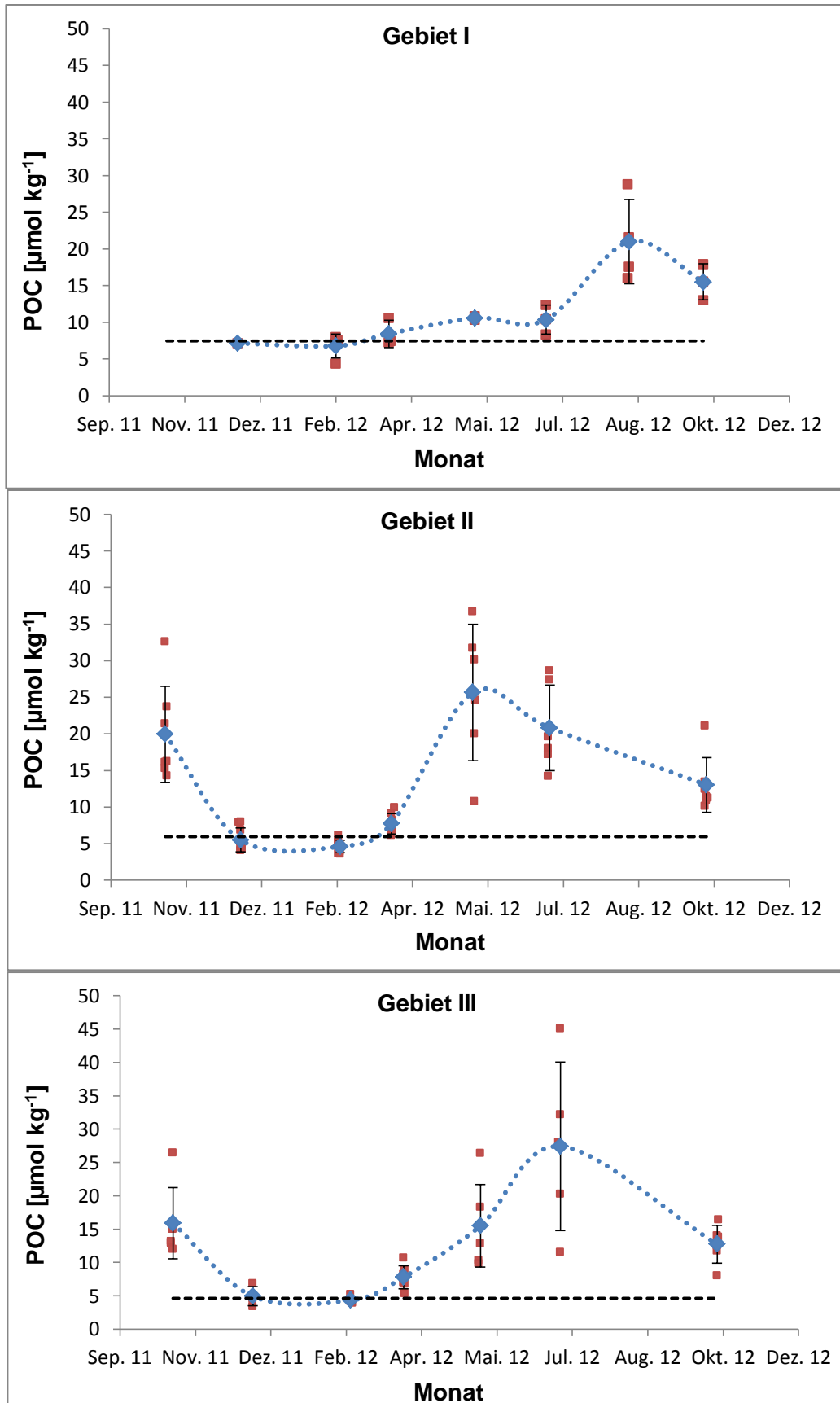


Abb. 37: Saisonaler Zyklus von POC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.

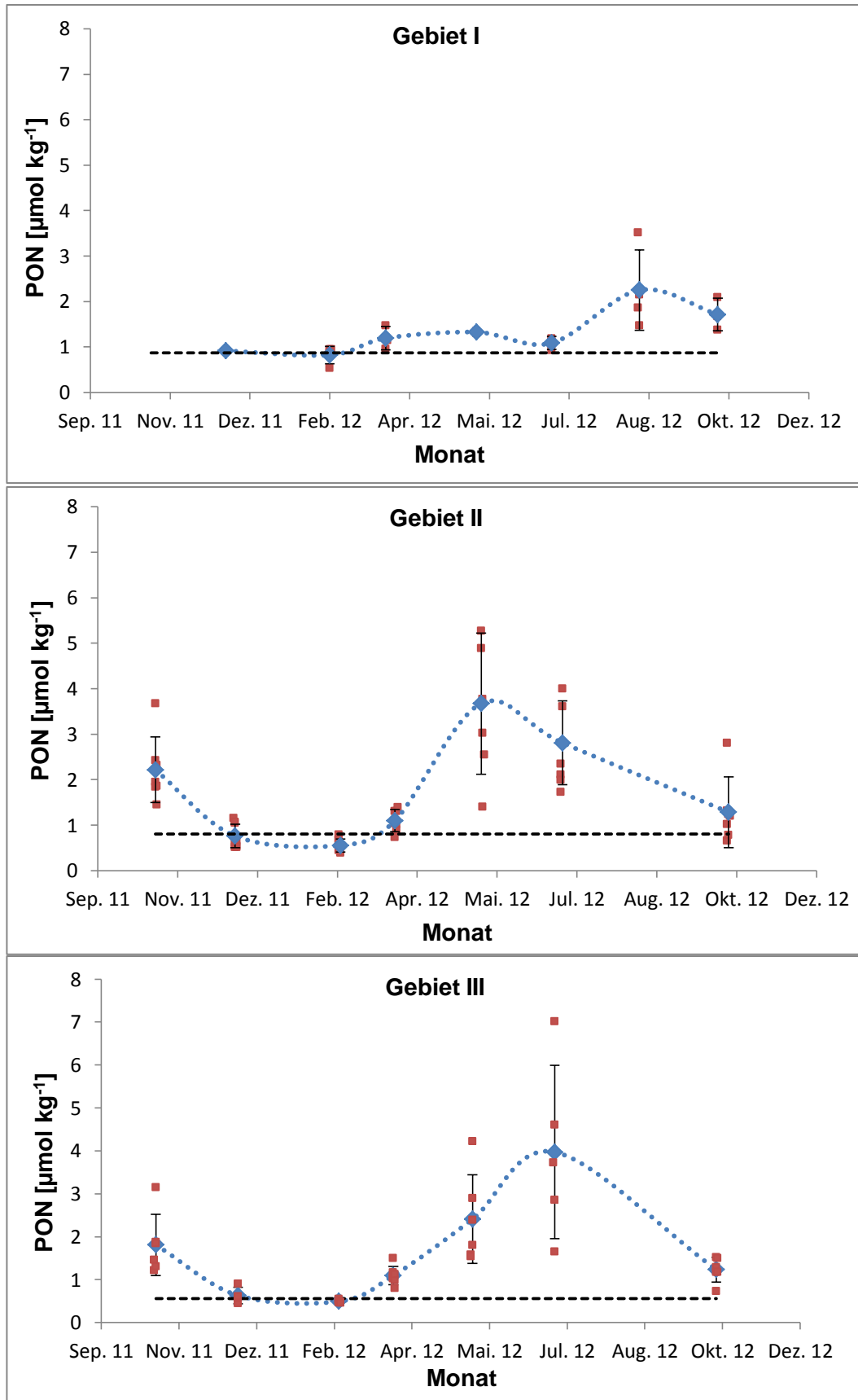


Abb. 38: Saisonaler Zyklus von PON im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.

Betrachtet man die Chlorophyll-Daten (vgl. Abbildung 39) mit Hinblick auf die oben bereits diskutierten DOC-Werte, so fällt weiterhin auf, dass Kohlenstoff dem DOM-Pool erst zeitverzögert nach der Phytoplanktonblüte zugeführt wird, was sich in einem sprunghaften Anstieg in der DOC-Konzentration zeigt.

Während in Gebiet II der Anstieg in den DOC-Konzentrationen (Maximum: Juni) einen Monat nach dem Maximum in den POM-Konzentrationen (Mai) erfolgt, liegen die Maxima der DOC- und der POC-Konzentrationen in Gebiet III beide im Juni. Im Gebiet I entspricht das POC / PON-Maximum im August einem Minimum in den DOC-Werten.

Die zeitliche Diskrepanz des Auftretens der Hauptblüte (Maxima in den POM-Konzentrationen) in Gebiet II (Mai) und III (Ende Juni) ist auffällig, deckt sich jedoch mit den monatlichen Chlorophyll-Satellitenbildern (ocean color radiometry online visualization & analysis monthly data; MODIS Aqua 9 km) des Giovanni Ocean Portals (disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni), welche auch zur Veranschaulichung der regional unterschiedlichen Produktionsraten herangezogen wurden und die in Abbildung 39 für alle untersuchten Monate dargestellt sind.

In den Chlorophyll-Satellitenbildern ist deutlich zu erkennen, dass die Frühjahrsblüte in Gebiet I und II bereits im Mai statt findet, während sie im Gebiet III erst im Juni auftritt. Die Maxima in den DOC-Konzentrationen liegen in allen drei Gebieten im Juni, während im Mai noch winterliche Werte gefunden werden.

Weiterhin ist in den Chlorophyll-Satellitenbildern deutlich die patchiness, vor allem im Mai, Juni, August und Oktober, zu erkennen. Hier werden während der Fahrten Produktionsfelder mit einer Konzentrationsspanne von 0,5 bis 10 mg Chlorophyll $a\ m^{-3}$ durchquert. Die verschiedenen Chlorophyll-Felder resultieren in der breiten Streuung der gemessenen POM-Daten. In den Wintermonaten (Februar, März) werden hingegen nahezu uniforme Chlorophyll a -Konzentrationen im gesamten Untersuchungsgebiet durchfahren (0,1 bis max. 0,7 mg Chlorophyll $a\ m^{-3}$), so dass die Streuung der Messwerte geringer ist.

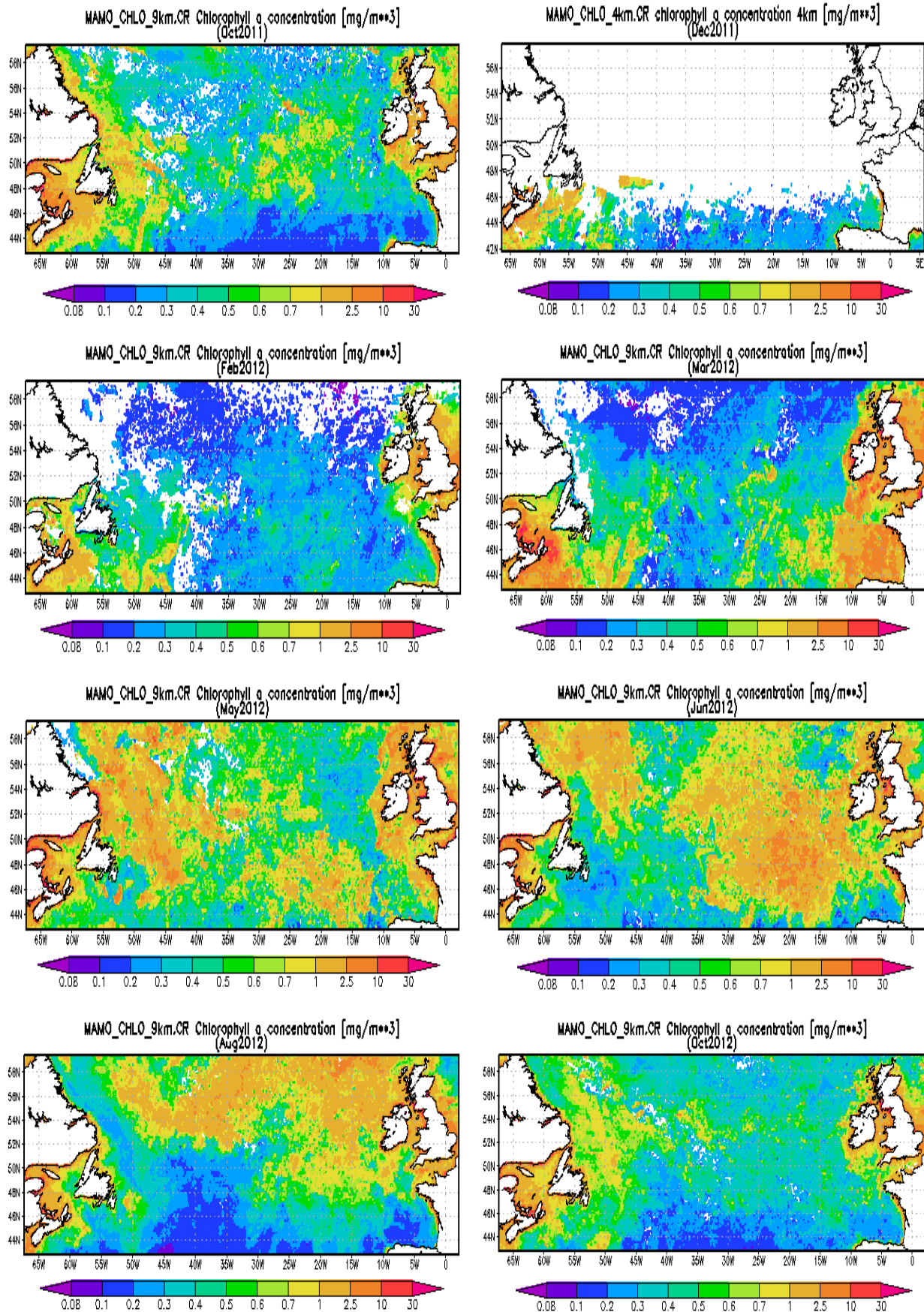


Abb. 39: Chlorophyll a Konzentrationen von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Satellitenbilder des Giovanni Ocean Portals: ocean color radiometry online visualization & analysis monthly data, MODIS Aqua 9 km [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni].

4.6 Saisonalität von Nitrat

Die Nitratwerte in Gebiet I bis III zeigen, ebenso wie die DOC- und POC / PON-Daten ein deutliches saisonales Signal (vgl. Abbildung 40). In allen drei Gebieten findet sich ein winterliches Maximum in den Konzentrationen aufgrund des Nährstoffeintrags infolge der Vertiefung der MLD (vgl. Kapitel 4.8.1) und im frühen Sommer liegt eine Erschöpfung des Nährstoffes vor.

Während das Maximum in Gebiet I im Februar erreicht wird ($8,2 \mu\text{mol kg}^{-1}$), so fallen die Werte zum Mai schnell ab und es wird ein Minimum durchlaufen, bis im Dezember der winterliche Hintergrund wieder erreicht wird. In Gebiet II liegt das Maximum in den Nitratkonzentrationen bereits im Dezember ($16,3 \mu\text{mol kg}^{-1}$) und es erfolgt ein langsamerer Abbau des Pools, bis im Mai eine vollständige Erschöpfung vorliegt. Erst im Oktober beginnt ein erneutes Auffüllen des Nährstoffpools. Gebiet III zeichnet sich ebenfalls durch maximale Nitratwerte im Dezember aus ($9,6 \mu\text{mol kg}^{-1}$), jedoch erfolgt eine langsamere Zählung des Nährstoffes, so dass Minimalwerte erst im Juni erreicht werden. Es liegt keine vollständige Erschöpfung des Pools in Gebiet III vor und die Konzentrationen steigen bereits im Spätsommer allmählich wieder an, um im Dezember den winterlichen Hintergrund zu erreichen.

Auch hier wird der frühere Saisonbeginn in Gebiet I und II im Vergleich zu Gebiet III deutlich. Im westlichen Teil des Nordatlantiks erfolgt eine Abnahme in den Konzentrationen bereits im Frühjahr, so dass hier im Mai kein Nitrat mehr vorhanden ist. Im Osten wird ein Minimum in den Nitratkonzentrationen erst im späten Juni erreicht.

Weiterhin wird der Nährstoffpool allen Anschein nach im östlichen Nordatlantik früher wieder aufgefüllt, als im Westen. Die Nitratwerte steigen im Osten bereits ab dem Spätsommer wieder an, während sie im Westen erst im späten Herbst zunehmen.

Die auffällig niedrigen Nitratwerte in Gebiet II im Februar (2. Minimum) lassen sich vermutlich dadurch erklären, dass die Fahrt relativ weit im Süden lag. Die erhöhten Werte in Gebiet I im August (2. Maximum) zeigen schätzungsweise ebenfalls kein biologisches, sondern vielmehr ein regionales Signal, da diese Fahrt sehr weit nördlich erfolgte.

Die maximale saisonale Nitrat-Amplitude liegt für Gebiet I bei $8,2 \mu\text{mol kg}^{-1}$, für Gebiet II beträgt diese $16,0 \mu\text{mol kg}^{-1}$ und Gebiet III zeigt eine Amplitude von $9,0 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Damit liegt die Amplitude im westlichen offenen Nordatlantik (Gebiet II) um 78 % höher, als die im östlichen Gebiet.

4.7 Nitratabhängigkeit von DOC

Smith Jr. et al. [1998] fanden in Laborexperimenten heraus, dass eine Nitratabhängigkeit der DOC-Konzentrationen existiert: Die DOC-Werte steigen stark an, sobald das Nitratvorkommen nahezu erschöpft ist. Der anorganische Stickstofflieferant Nitrat dient als Sauerstoffquelle, bis die Konzentrationen einen gewissen Wert unterschreiten.

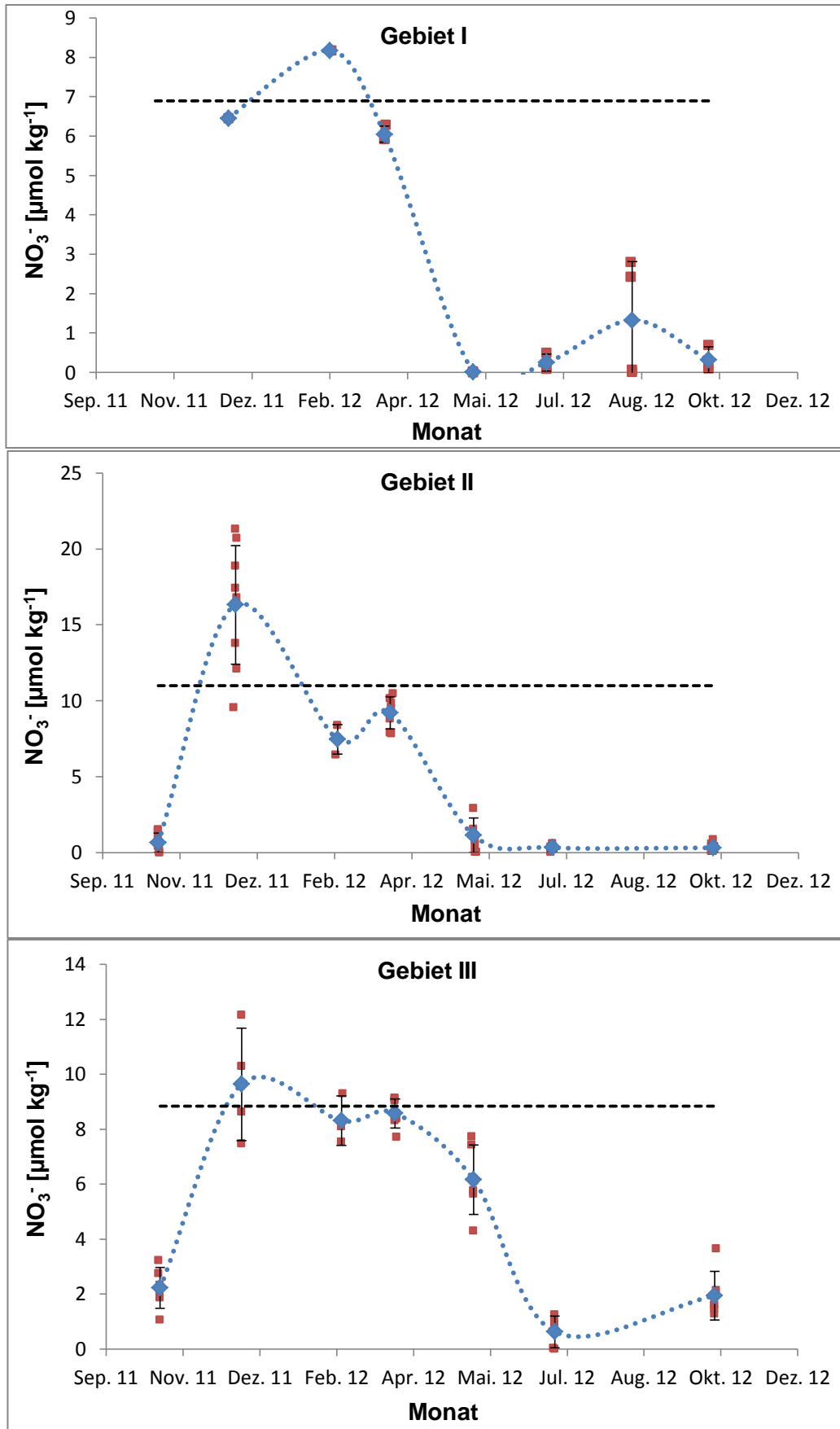


Abb. 40: Saisonaler Zyklus von Nitrat im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.

Infolgedessen tritt eine Verstoffwechselung von anderen Sauerstoffquellen ein, welche kohlenstoffreicher sind und DOC als Nebenprodukt entstehen lassen. In Abbildung 41 ist die Nitratabhängigkeit der DOC-Konzentration im Nordatlantik für alle drei Untersuchungsgebiete dargestellt. Die hier gemachten Beobachtungen decken sich mit denen von *Smith Jr. et al.* [1998] und von *Steinhoff* [2004]. Im Westen ist das Phänomen stärker ausgeprägt als im Osten. Während die DOC-Konzentrationen im Gebiet I und II bis zum Unterschreiten von $0,3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ niedrig bleiben (ca. $58 - 65 \mu\text{mol kg}^{-1}$), steigen die DOC-Werte im Gebiet III bereits ab einer Nitratkonzentration von $0,6 \mu\text{mol kg}^{-1}$ von ca. $63 \mu\text{mol kg}^{-1}$ auf etwa $95 \mu\text{mol kg}^{-1}$ an.

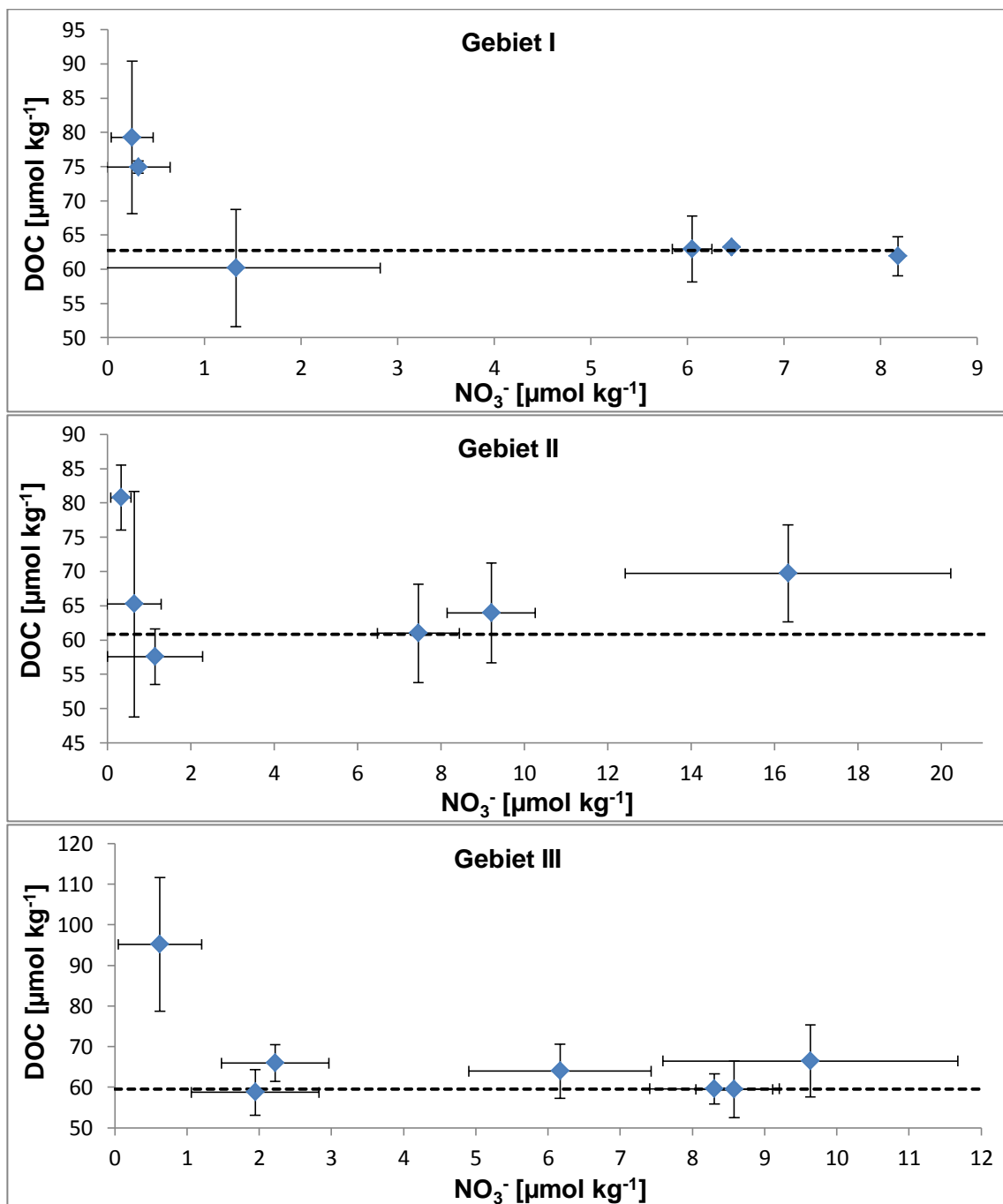


Abb. 41: Nitratabhängigkeit von DOC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks. Die Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte.

4.8 Kohlenstoffbudget

4.8.1 Klimatologie der durchmischten Deckschichttiefe des Nordatlantiks

Die Klimatologie der MLD von *Monterey et al.* [1997] enthält monatliche MLD-Felder in einem $1^\circ \times 1^\circ$ -Koordinatennetz für den globalen Ozean. Die MLD wird auf drei unterschiedliche Arten berechnet: aufgrund von Temperatur-Differenzen, aufgrund von Dichteunterschieden und einer variablen Dichteänderung. Es wurden hier nur die MLD-Daten verwendet, die aufgrund des Temperaturunterschiedes von $0,5^\circ\text{C}$ von der Oberflächentemperatur, berechnet wurden. Obwohl es sich bei den temperaturbasierten Berechnungen der Tiefen streng genommen um die isothermale Schichttiefe (ILD) handelt, welche von der MLD abweichen kann [*Kara et al.*, 2003], ist die Verwendung von Temperatur basierenden MLD laut *Thomson et al.* [2002] vor allem für biologische Anwendungen zu bevorzugen. Wie *Steinhoff et al.* [2010] gezeigt haben, wäre die Verwendung von modellierten MLD der beste Kompromiss. Für die Zwecke dieser Arbeit wird jedoch auf die Klimatologie von *Monterey et al.* [1997] zurückgegriffen (vgl. Abbildung 42) und die Abweichungen zwischen der ILD und der MLD werden als vernachlässigbar angesehen.

Die MLD des subpolaren Nordatlantiks ist für die gesamte Untersuchungszeit in Abbildung 42 dargestellt, um die Dynamik der untersuchten Region zu veranschaulichen und zeigt eine deutliche Saisonalität: Im Sommer beträgt die mittlere MLD nur ca. 11 m im Westen (Gebiet I), 28 m in Gebiet II und 25 m im Osten, während im Winter durchschnittliche MLD von 157 m im Schelfgebiet (Gebiet I: maximal 240 m), 239 m im Osten (Gebiet II: maximal 420 m) und 364 m im Westen des NADR (Gebiet III: maximal 634 m) erreicht werden können.

Im NWCS-Gebiet werden geringe Tiefen der durchmischten Deckschicht von April bis Dezember beobachtet und im NADR-Gebiet dauert die Phase der niedrigen MLD von Mai bis Oktober an. Die winterliche Vertiefung der MLD ist entscheidend für das Auffüllen des Nährstoffpools in der oberflächennahen Wasserschicht des Nordatlantiks und dadurch ist die MLD eine der bedeutendsten treibenden Eigenschaft in der regionalen Biogeochemie [*Oschlies*, 2002, *Steinhoff et al.*, 2010]. Ein lokales Maximum in der winterlichen MLD wurde u.a. von *Koeve* [2001] zwischen 45°N und 50°N im Nordatlantik beobachtet.

4.8.2 Saisonalität von TOC

In Abbildung 43 sind die gemittelten klimatologischen MLD der jeweiligen Fahrten und des Weiteren die Jahresgänge von TOC dargestellt. Zusätzlich sind die Phasen des Exports und des Imports von organischem Kohlenstoff für die drei Gebiete gekennzeichnet. Bei den Import-Phasen handelt es sich sowohl um steigende organische Kohlenstoff-Konzentrationen aufgrund von biologischer Produktion, als auch um lateralen und vertikalen Eintrag. Bei den Export-Phasen lassen sich hier respiratorische Prozesse und der klassische Export durch Sinken bzw. Sedimentieren nicht unterscheiden.

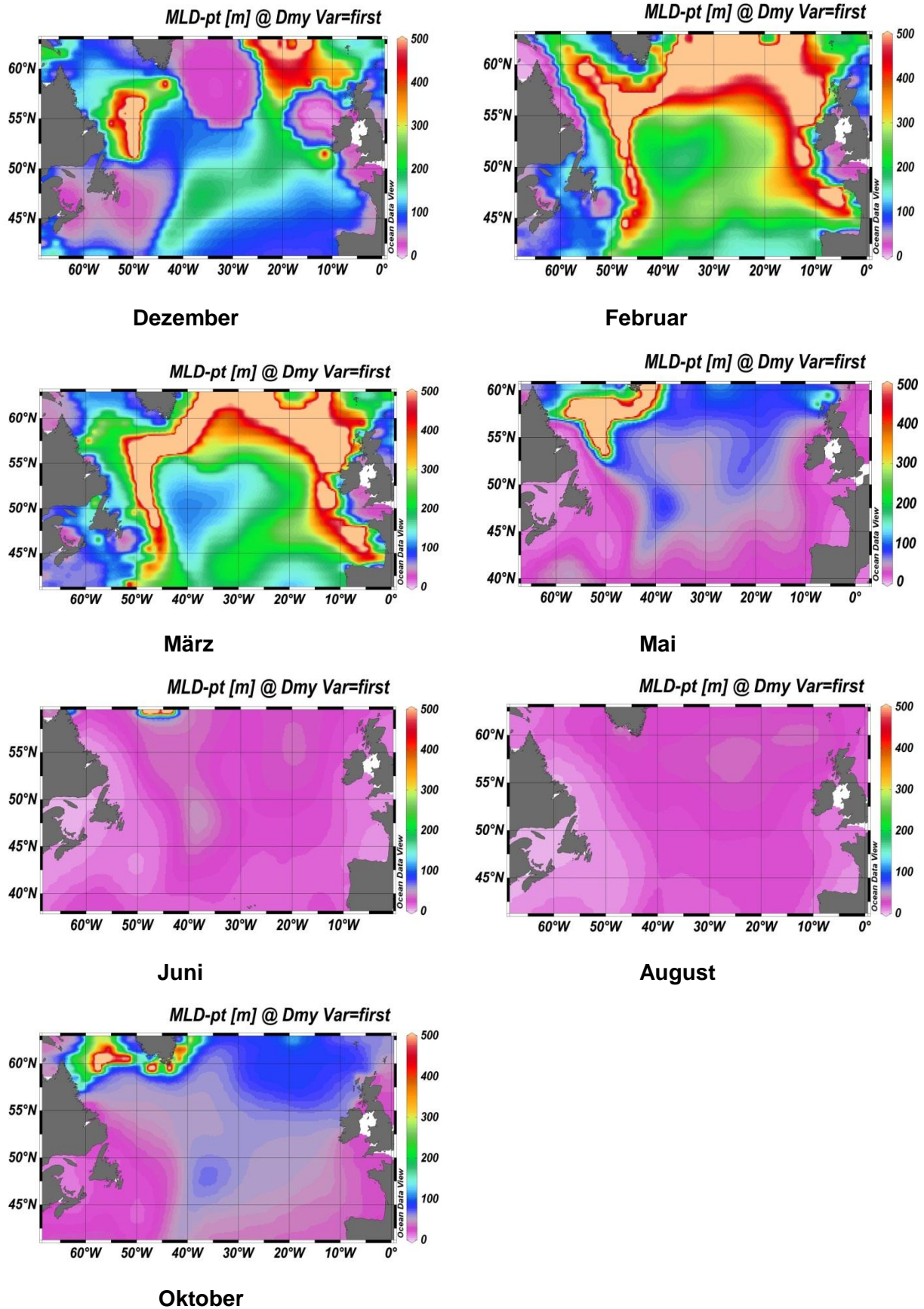


Abb. 42: Tiefe der durchmischten Deckschicht (MLD) im Nordatlantik im Jahresgang von Dezember bis Oktober. Klimatologische Daten von *Monterey et al.* [1997] auf Grundlage von potentiellen Temperaturunterschieden von $0,5^{\circ}\text{C}$ zwischen Oberfläche und Tiefe.

Alle drei Gebiete weisen die tiefste MLD im Februar auf und eine flachere MLD ab Mai. Dem gegenüber stehen die niedrigen TOC-Konzentrationen im Winter (winterlicher Hintergrund) und die erhöhten Konzentrationen im Frühjahr und Sommer. Die Jahresgänge in der MLD und den TOC-Konzentrationen sind offensichtlich gegenläufig und hier wird deutlich, dass die Biologie von der saisonalen Abfolge von winterlicher Tiefendurchmischung und frühjährlicher Schichtung dominiert wird [Longhurst, 1998].

Gebiet II und III zeigen auf den ersten Blick einen sehr ähnlichen Verlauf sowohl in dem Jahresgang der MLD, als auch in den saisonalen TOC-Konzentrationen. Lediglich die Absolutwerte sind verschieden, die Import-Phase setzt in Gebiet II früher ein (Februar) als in Gebiet III (Anfang April) und auch der Anstieg in den TOC-Konzentrationen erfolgt schneller in Gebiet II. Der Beginn der Import-Phase des organischen Kohlenstoffs (Start der Frühjahrsblüte, steigende TOC-Konzentrationen) stimmt mit der beginnenden Schichtung der Wassersäule aufgrund von erhöhter Sonneneinstrahlung und nachlassendem Windeinfluss überein [Longhurst, 1998] und zeigt sich in einer gleichzeitigen drastischen Abnahme in der MLD.

Die Exportphase setzt in beiden Gebieten der NADR-Provinz Ende Juni ein und dauert bis zum Beginn der Import-Phase im Frühjahr. Ende Juni liegt der Übergang zur sommerlichen Oligotrophie [Longhurst, 1998], die mit einer abnehmenden Produktion von organischem Kohlenstoff verbunden ist. Im Herbst sorgen zunehmende hohe Windgeschwindigkeiten für eine erneute Vertiefung der durchmischten Deckschicht und einen vertikalen Eintrag von Nährstoffen.

Gebiet I weist im Vergleich zu Gebiet II und III einen ähnlichen Jahresgang der MLD auf, jedoch ist die Saisonalität des TOC in der NWCS-Region durch einen abweichenden Verlauf gekennzeichnet. Die Import-Phase setzt hier erst Ende April ein und der Anstieg in den TOC-Konzentrationen erfolgt schneller um Ende Juni ein Maximum zu durchlaufen. Ein Minimum in den TOC-Werten ist im Spätsommer (August) zu beobachten, was vermutlich dem von Longhurst [1998] beschriebenen Copoepoden-Peak zu dieser Jahreszeit entspricht. Die pflanzenfressenden Ruderfußkrebse sorgen für eine Zählung der Primärproduzenten und entsprechend wird TOC aus der Oberflächenschicht exportiert und ist folglich mittels der durchgeführten Probenahmen und Messungen nicht mehr nachweisbar. Die anschließende zweite Import-Phase entspricht einer ausgeprägten Herbstblüte, wie sie in der NWCS Provinz auf Grand Banks üblicherweise beobachtet werden kann [Longhurst, 1998].

Das Kohlenstoffbudget der durchmischten Deckschicht ist im Februar in allen drei Gebieten am größten, da hier die MLD am tiefsten reicht. In Gebiet I beträgt das winterliche TOC-Inventar $10,9 \text{ mmol m}^{-2}$ Wassersäule bis zur MLD. In Gebiet II beträgt dieses $16,5 \text{ mmol m}^{-2}$ und in Gebiet III $23,7 \text{ mmol m}^{-2}$. Im Sommer liegen die integrierten TOC-Inventare der durchmischten Deckschicht in Gebiet I bei $1,02 \text{ mmol m}^{-2}$, in Gebiet II bei $2,93 \text{ mmol m}^{-2}$ und in Gebiet III mit $3,16 \text{ mmol m}^{-2}$ am höchsten.

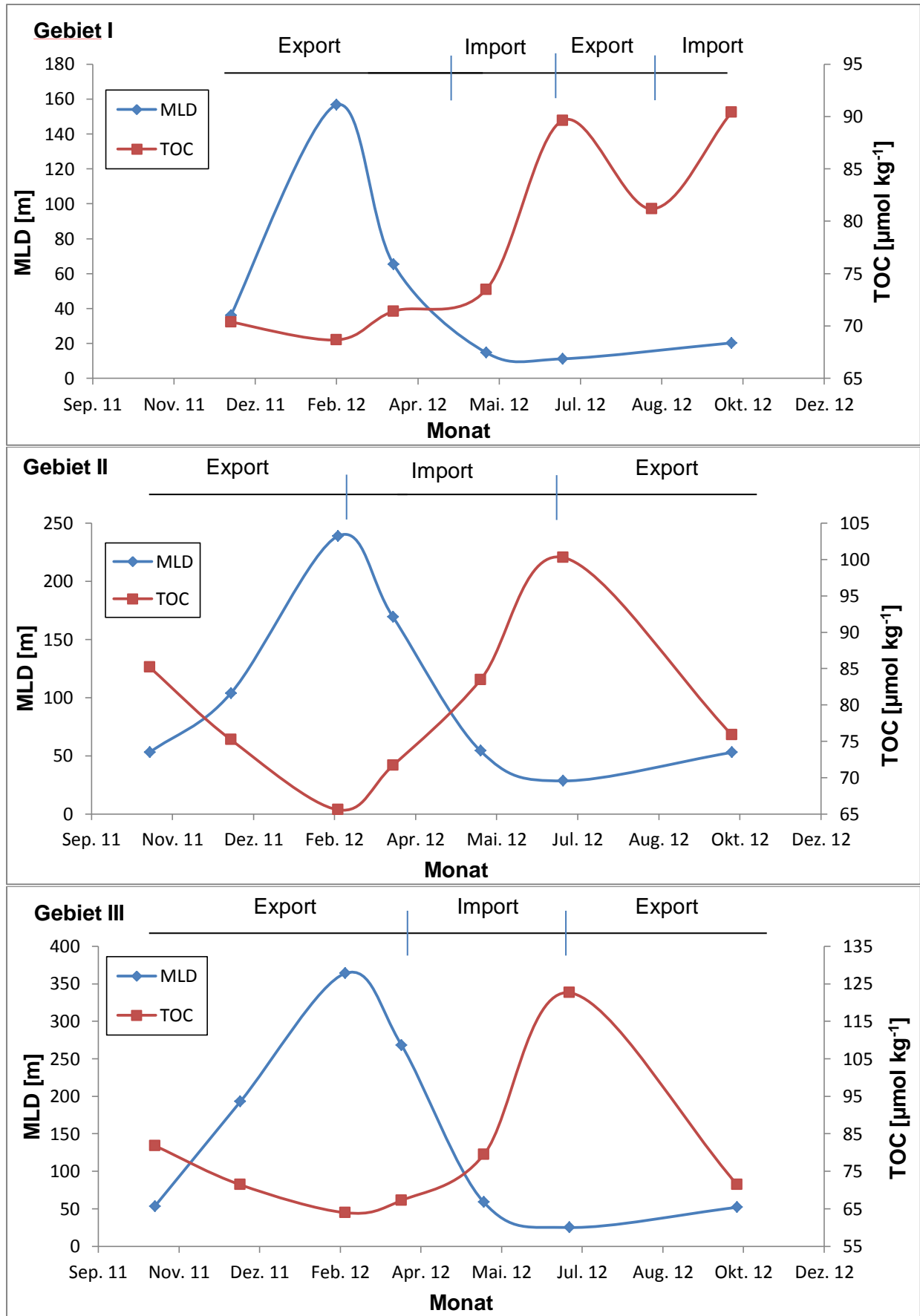


Abb. 43: Saisonaler Zyklus von monatlich gemittelten klimatologischen MLD und dem organischen Kohlenstoffbudget im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012.

4.8.3 Neue Produktion und Export

Zunächst wurden die Differenzen der gemittelten Nitratkonzentrationen jeder Fahrt (NO_3^-) zu der Startkonzentration des Jahresganges ($\text{NO}_3^-)_0$ für jedes der drei Gebiete berechnet um zu ermitteln, wie viel Nitrat für die Bildung des organischen Materials verbraucht wurde:

$$\Delta \text{NO}_3^- = (\text{NO}_3^-)_0 - (\text{NO}_3^-) \quad (10)$$

Das von *Körtzinger et al.* [2001] bestimmte C : N-Verhältnis der Respiration von 7,2 im Nordatlantik wurde verwendet, um aus der Menge des gezehrten Nitrats die Menge des anorganischen Kohlenstoffs zu berechnen, die entsprechend dem C : N-Verhältnis nötig wäre um eine entsprechende Biomasse zu bilden:

$$\Delta \text{DIC} = \Delta \text{NO}_3^- \cdot 7,2 \quad (11)$$

In Abbildung 44 ist die aus dem saisonalen Verbrauch von Nitrat berechnete Abnahme des DIC für jedes der drei Gebiete dargestellt. Zusätzlich zu dem saisonalen DIC-Verbrauch (ΔDIC) sind analog zur Gleichung 10 die Zunahmen in den POC- und DOC-Konzentrationen als Differenzen der gemittelten POC- bzw. DOC-Konzentrationen jeder Fahrt zu der Startkonzentration des Jahresganges ermittelt wurden (Aufbau von organischem Material) und in Abbildung 44 ebenfalls eingezeichnet:

$$\Delta \text{POC} = (\text{POC}) - (\text{POC})_0 \quad (12)$$

$$\Delta \text{DOC} = (\text{DOC}) - (\text{DOC})_0 \quad (13)$$

Die Veränderung in der Größe des Kohlenstoff-Pools ist in Abbildung 44 veranschaulicht. Die Zunahme der POC-Konzentration (ΔPOC) durch die Bildung des POM bzw. der DOC-Konzentration (ΔDOC) ist dem NO_3^- -Verbrauch respektive dem berechneten DIC-Verbrauch (ΔDIC) gegenüber gestellt.

In Gebiet II zeigt sich, dass das POC, welches ab dem Spätsommer nicht mehr gebildet und folglich abgebaut wird, mit einer Verzögerung von etwa drei Monaten in den DOC-Pool gelangt, wo dies im Februar zu einem kleinen DOC-Maximum in den Konzentrationen führt.

Die Verläufe von Nitrat-Verbrauch (ΔNO_3^-) und PON-Zunahme (ΔPON) entsprechen denen von ΔDIC und ΔPOC , ebenso wie die relativen Unterschiede zwischen anorganischer Zehrung und Bildung des organischen Materials. Lediglich die Absolutwerte sind unterschiedlich (Rechenoperationsfaktor: 7,2 für ΔNO_3^-).

In Gebiet I und II liegt der DIC- bzw. NO_3^- -Verlust um ein vielfaches höher als die Produktion des POM. Eine Abweichung der DIC-Senke vom POC-Aufbau, wird von *Banse* [1994] der Freisetzung von DOC zugeschrieben.

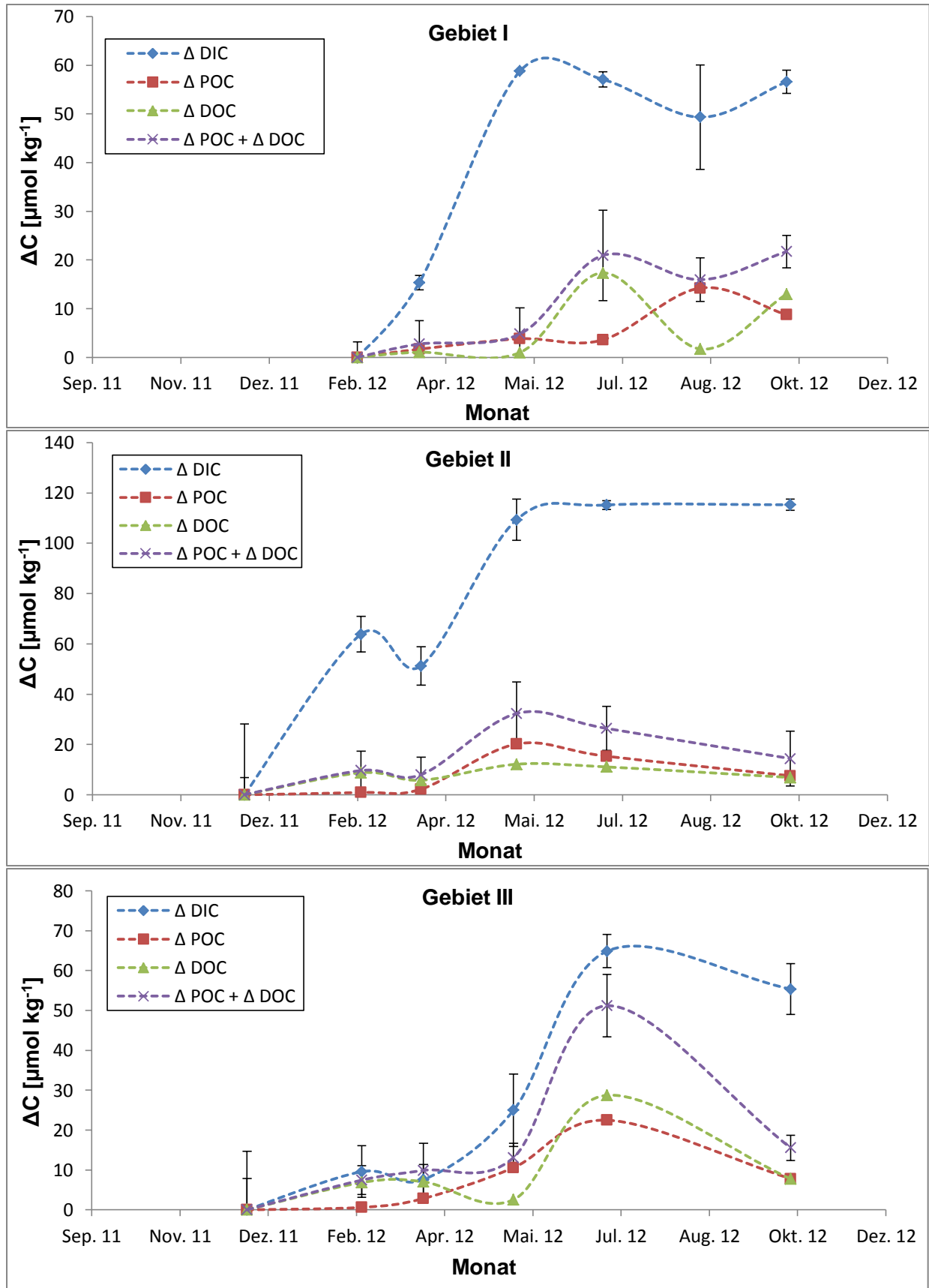


Abb. 44: Veränderung in der Größe des C-Pools: Jahreshang des durch Respirationsprozesse verbrauchten DIC, der über den Verbrauch des Nitrates berechnet wurde mit einem C : N-Respirations-Verhältnis von 7,2 und der Vergleich mit dem Aufbau von organischem Kohlenstoff (Δ POC und Δ DOC) im Oberflächenwasser des Nordatlantiks.

In Abbildung 44 ist aus dem Grund zusätzlich zu den Zunahmen der POC- (Δ POC) und der DOC-Konzentration (Δ DOC) auch die Summe des Aufbaus der beiden organischen Fraktionen (Δ POC + Δ DOC) dargestellt. Diese müsste laut *Banse* [1994] deckungsgleich sein mit der kalkulierten DIC-Zehrung, aber auch diese zeigt erhebliche Abweichungen. Diese Differenz wird zunächst versucht durch klassische biologische Prozesse zu erklären: als Export von POC aus der durchmischten Deckschicht durch Sinken der Partikel (ΔC_{loss}). Dieser ist gegeben als die Differenz zwischen dem DIC-Verlust und dem Aufbau von POC und DOC:

$$\Delta C_{\text{loss}} = \Delta \text{DIC} - (\Delta \text{POC} + \Delta \text{DOC}) \quad [\text{Riebesell et al., 2007}]. \quad (14)$$

Im Westen liegen die maximalen ΔC_{loss} -Werte bei $54 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet I (Mai) und $101 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in Gebiet II (Oktober). Dabei fallen in Gebiet I die maximale Exportrate des POM und ein schwach ausgeprägtes Maximum in den Absolutwerten des POC zusammen, während in Gebiet II im Oktober bereits abnehmende POC-Konzentrationen vorliegen und der POM-Verlust durch den sedimentativen Export hier nahezu doppelt so groß ist wie die maximale POC-Verlustrate in Gebiet I.

Gebiet II steht, wie bereits obenstehend erläutert, unter dem Einfluss des GS, dessen Wassermassenbiologie dadurch gekennzeichnet ist, dass im Frühjahr (Mai) eine geringe vertikale Migration des Mesoplanktons stattfindet, während im Herbst (September) eine stärker ausgeprägte Migrationsbewegung der Organismen auftritt (vgl. *Longhurst* [1998]). Die Migration stellt eine weitere mögliche Erklärung des erheblichen POC-Verlustes aus dem Oberflächenwasser in Gebiet II dar.

In den vorliegenden Daten zeigt sich die von *Ducklow et al.* [1986] beobachtete Diskrepanz im Kohlenstoffbudget des Nordatlantiks, welche sich ihm zufolge durch den vom klassischen Model abweichenden, verstärkten DOC-Export aus dem Oberflächenwasser erklären lässt. Dieser übernimmt eine Hauptrolle im Kohlenstoffhaushalt des Nordatlantiks.

In Gebiet III ist die Abweichung zwischen Δ DIC und (Δ POC + Δ DOC) weniger groß von Dezember bis Juni. Lediglich im Spätsommer findet ein größerer POC- respektive DOC-Export statt (Maximum: $\Delta C_{\text{loss}} = 40 \mu\text{mol kg}^{-1}$ im Oktober vgl. auch Abbildung 43 unten), welcher jedoch um 26 % unterhalb des Maximums von Gebiet I und um 61 % unterhalb des Maximums von Gebiet II liegt.

Die berechneten hohen ΔC_{loss} -Werte in Gebiet I und II, welche neben dem POC-Export auch versucht wurden durch den DOC-Verlust aus der MLD zu erklären, sind untypisch hoch für rein biologisch geprägte Systeme. Der große Unterschied zwischen Gebiet I und II im Vergleich zu Gebiet III zeigt vor allem deutlich den Einfluss der unterschiedlichen Wassermassen im Westen. Bei dem östlichen Gebiet III handelt es sich um ein stark biologisch getriebenes System, bei dem die Bildung des organischen Materials mit dem DIC-Verbrauch einhergeht.

Die Berücksichtigung des CO_2 -Gasaustausches zwischen Ozean und Atmosphäre würde die Differenz zwischen ΔDIC und $(\Delta \text{POC} + \Delta \text{DOC})$ darüber hinaus verringern. Gebiet I und II zeigen dagegen größere Abweichungen zwischen ΔDIC und $(\Delta \text{POC} + \Delta \text{DOC})$ und diese Variabilität wird neben der Biologie vor allem durch physikalische Prozesse getragen. Hier treffen mit dem LC und dem GS zwei unterschiedliche Wassermassen aufeinander und vor allem die Advektion des LC-Wassers erklärt die erhebliche Differenz zwischen dem DIC-Verbrauch und der Bildung des organischen Materials in diesen dynamischen Regionen.

Aus den vorliegenden Daten lässt sich schließen, dass in den drei Gebieten zudem unterschiedliche biologische Prozesse für die Bildung und den Abbau des biologischen Materials verantwortlich sind. Dies deckt sich auch mit der Beobachtung der unterschiedlichen Nitratabhängigkeiten des DOC.

4.9 C : N-Verhältnisse im Oberflächenwasser des Nordatlantiks

Die vorhandenen Daten lassen eine Berechnung des C : N-Verhältnisses von POM und von saisonalem POM zu. Es liegen keine DON- und DIC-Messergebnisse vor, so dass eine Berechnung des C : N-Verhältnisses für gelöstes und für neu produziertes organisches Material nicht möglich ist.

4.9.1 C : N-Verhältnis des insgesamt vorhandenen POM

In Abbildung 45 ist die Saisonalität des C : N-Verhältnisses im gesamten POM im Nordatlantik in den drei Gebieten dargestellt. Das von *Körtzinger et al.* [2001] gefundene C : N-Verhältnis von 7,2 ist durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet.

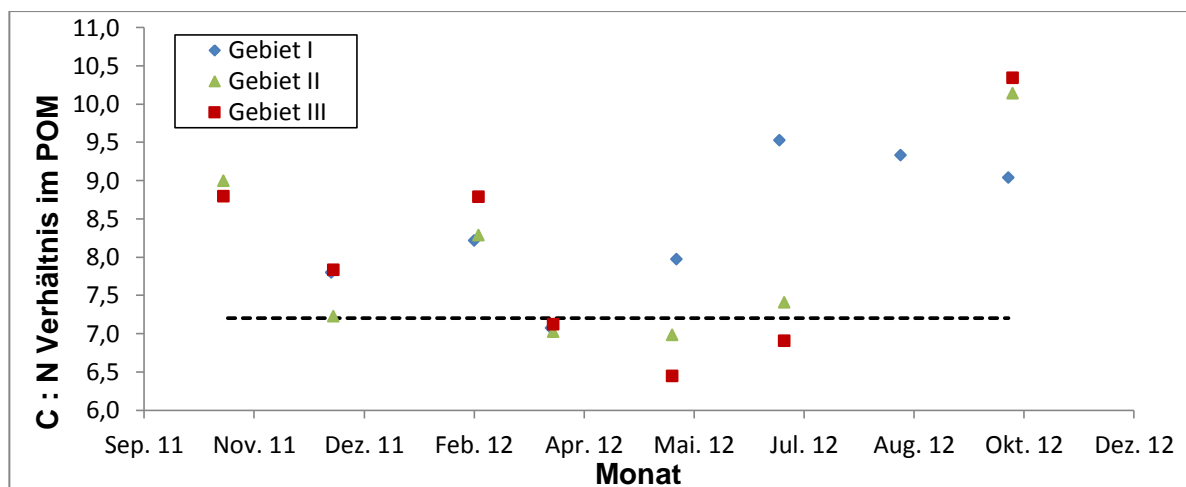


Abb. 45: Saisonalität des C : N-Verhältnisses im gesamten POM im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012. Die gestrichelte Linie entspricht dem von *Körtzinger et al.* [2001] beschriebenen C : N-Verhältnis von 7,2.

Im Frühjahr (März bis Juni) liegen die C : N-Werte im POM in Gebiet III etwas unterhalb von 7,2 aber dennoch im Bereich des Redfield-Verhältnisses (Minimum im Mai: 6,4). Das POM

wird aufgrund des Nährstoffreichtums im Oberflächenwasser, in Folge der winterlichen Vertiefung der durchmischten Deckschicht, ständig frisch gebildet und besitzt daher einen relativ hohen Stickstoffanteil, wodurch das C : N-Verhältnis des POM geringer ist als im Winter. Allgemein werden C : N-Verhältnisse des suspendierten POM unterhalb des Redfield-Verhältnisses während eutropher Bedingungen erhalten ($C : N = 5$) und wenn heterotrophe Organismen erster Ordnung (z.B. Wimpertierchen und Krill) einen großen Konsumanteil haben [Gaul et al., 1999]. In NADR-Gebiet entspricht das C : N-Verhältnis des gesamten POM während der Frühjahrsblüte im Rahmen der Fehlergrenzen dem Verhältnis der neuen Produktion von 7,2. Diese Beobachtung deckt sich mit früheren Untersuchungsergebnissen [Körtzinger et al., 2001]. Ab dem Spätsommer bis zum späten Winter werden in allen Gebieten Werte oberhalb von 7,2 bis zu 10,3 (Gebiet III) beobachtet. Hierbei handelt es sich um weniger stickstoffreiche organische Substanz. In Folge von Nitrat-Mangel (Erschöpfung des Nährstoffpools) liegt das C : N-Verhältnis oberhalb des „Körtzinger-Werts“, aufgrund von so genannter „carbon overconsumption“ (Kohlenstoffüberverbrauch) [Toggweiler, 1993]. Es findet eine Akkumulation von kohlenstoffreichem Material statt.

Der durchschnittliche C : N-Wert aller gemessenen POM-Proben liegt bei 8,2 und damit oberhalb des „Körtzinger-Verhältnisses“. Auffällig ist, dass die C : N-Werte des POM in Gebiet I von Oktober bis März mit denen von Gebiet II und III in guter Übereinstimmung stehen, von Mai bis August hier jedoch deutlich höhere Werte gefunden werden (Maximum: 9,5). Auf dem Schelf von Grand Banks kommt es im Sommer zu einer starken Schichtung der Wassersäule und entsprechend liegen oligotrophe Bedingungen in der geringen MLD vor. Während im Spätsommer und Herbst (ab Juli) eine Abnahme in den absoluten POM-Werten erfolgt (eingestellte Produktion des POM), liegt im gleichen Zeitraum das Maximum der C : N-Verhältnisse im gesamten POM-Pool. Diese Beobachtung lässt sich mit dem Export von stickstoffreichem POM während der unproduktiven Phase erklären. Dieses wird wahrscheinlich aus der durchmischten Deckschicht durch Sedimentation des partikulären Materials entfernt. Eine andere Erklärung wäre die Überführung des POM in DOM, was in einem Maximum in den absoluten DON- bzw. DOC-Daten zu erkennen wäre. DON-Messwerte liegen jedoch für diese Auswertung nicht vor und in den DOC-Jahresgängen zeigt sich lediglich in Gebiet I ein Anstieg in den DOC-Konzentrationen im Herbst, nachdem im August ein Minimum durchlaufen wird. In Gebiet II und III liegen im Oktober 2012 winterliche Hintergrundwerte in den DOC-Konzentrationen vor. Eine eindeutige Erklärung ließe sich lediglich mit DON-Werten geben.

4.9.2 C : N-Verhältnis des saisonalen, neu produzierten POM

Die Differenz zwischen den POC- bzw. PON-Messdaten und den berechneten winterlichen Hintergrundwerten ergibt die Menge an saisonal frisch produziertem POM. Die C : N-Verhältnisse dieses saisonal stark variablen POM sind in Abbildung 46 dargestellt. Es sind deutlich

Abweichungen der C : N-Verhältnisse vom „Körtzinger-Verhältnis“ zu beobachten. Diese Abweichungen sind größer als die der C : N-Verhältnisse im gesamten POM (vgl. Abschnitt 4.9.2). Gebiet I weist die größten Abweichungen auf und ist gekennzeichnet durch die höchsten C : N-Verhältnisse im späten Juni (15,6).

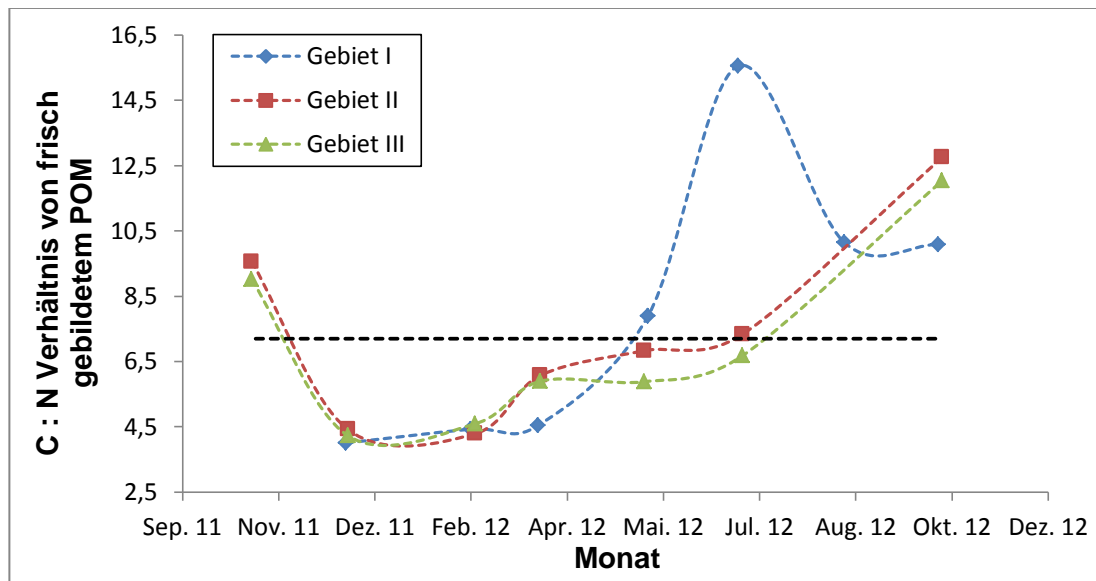


Abb. 46: Saisonalität der C : N-Verhältnisse des frisch produzierten POM im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012. Die gestrichelte Linie entspricht dem von Körtzinger et al. [2001] beschriebenen C : N-Verhältnis von 7,2.

Gebiet II und III dagegen zeichnen sich durch einen ähnlichen Verlauf der C : N-Verhältnisse des saisonal frisch produziertem POM aus und die winterliche Phase stimmt mit dem Verlauf in Gebiet I ebenfalls nahezu überein. Die C : N-Verhältnisse im Winter (Dezember bis Februar) liegen in allen drei Gebieten mit 4,0 bis 4,6 deutlich unterhalb des „Körtzinger-Verhältnisses“. Im Frühjahr (März bis Juni) liegen die Werte mit 5,9 bis 7,3 in Gebiet II und III zunächst nahe dem Redfield- und schließlich nahe dem „Körtzinger-Verhältnis“ und bleiben während dieser Phase relativ konstant.

Die Produktion von POM startet in Gebiet I mit einem C : N-Verhältnis des POM von 4,5 und in Gebiet II und III von 5,9 und das POM ist demnach stickstoffreich im Winter. In Gebiet I wird bereits ab Mai POM produziert, welches ein erhöhtes C : N-Verhältnis besitzt und sehr Kohlenstoffreich ist. In Gebiet II und III liegt das C : N-Verhältnis erst im Spätsommer oberhalb des „Körtzinger-Verhältnisses“ (12,8 bzw. 12,1). Erst mit Beginn des Winters werden in allen drei Gebieten wieder Verhältnisse von 7,2 und niedriger erreicht. In der NWCS-Region liegen die sommerlichen C : N-Verhältnisse des frisch produzierten POM höher als in der NADR-Region. Das POM-System aller drei Gebiete geht von einer Stickstoffüberproduktion in eine Kohlenstoffüberproduktion vom Winter zum Spätherbst über. Der Abbau des POC geht einher mit niedriger werdenden C : N-Verhältnissen. Das bedeutet, dass verhältnismäßig mehr POC- als PON-Abbau statt findet. Dieser Abbau bedingt die C : N-Verhältnisse des saisonalen POM.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Fokus dieser Arbeit lag auf der Messung von DOC- und POC / PON- Oberflächenseewasserproben die an Bord des VOS M/V Atlantic Companion von Oktober 2011 bis Oktober 2012 genommen wurden. Die Probenahme fand im subpolaren Nordatlantik Atlantik zwischen 10 °W und 55 °W (Liverpool, Großbritannien - Halifax, Kanada) statt.

Im Vordergrund dieser Arbeit stand zunächst die Wiederinbetriebnahme und Optimierung des TOC- V_{CSN} (Shimadzu, Japan) Gerätes zur TOC-Bestimmung. Das System basiert auf der HTCO-Methode nach *Sharp* [1973] und das Kohlenstoff-Detektionslimit liegt bei etwa $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ [Shimadzu, 2001].

Neben dem Umbau der Gaszuleitungen und dem Anschluss einer Stickstoffgasflasche für den Ausgasprozess (Extraktion des DIC, wirtschaftliche Vorteile) wurden selbstgepackte, durchsichtige Quarzrohr-halogen-scrubber verwendet, die eine verbesserte visuelle Kontrollmöglichkeit des fortschreitenden Kupferverbrauchs bieten. Eine Vorbehandlungsprozedur des neuen, wirksameren Katalysators wurde entwickelt, welche schneller zu niedrigeren stabilen Blankwerten führt.

Mittels ständiger 5-Punktkalibrierung zu Beginn und am Ende eines Messtages und regelmäßigen 2-Punktkalibrierungen im Messbetrieb, sowie der regelmäßigen Messung von LCW- und DSW-Referenzmaterial konnte gezeigt werden, dass das Shimadzu TOC- V_{CSN} Gerät mit einer Reproduzierbarkeit von $2,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ und einer Genauigkeit von $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ für die Bestimmung von ca. 20 TOC Proben innerhalb von 24 Stunden verwendet werden kann. Die mittlere Standardabweichung aller in dieser Arbeit gemessener Seewasserproben liegt bei $1,22 \mu\text{mol TOC L}^{-1}$. Die Oxidationsausbeute des Katalysators wurde mittels des Katalysatoreffizienz-Experiments überprüft und der organische Kohlenstoff konnte mit guten Ausbeuten (101 bis 104 %) wieder gefunden werden.

Die Konzentrationen des DOC wurden indirekt durch Differenzbildung ($\text{DOC} = \text{TOC} - \text{POC}$) berechnet. Die POC / PON-Probenfilter wurden mit einem CN-Elementaranalysator EuroEA der Firma HEKAtech GmbH analysiert. Instrumentelle Fehler liegen bei ca. 1 % und die Nachweisgrenze des Gerätes liegt bei ca. $1 \mu\text{mol C}$. Die Kalibrierung erfolgt täglich mit zwei unterschiedlichen Standardsubstanzen.

Das Hauptaugenmerk der Auswertung lag auf der Saisonalität der DOC- und POC-Daten. Hierfür wurden die Temperatur- und Salinitäts-Daten (incl. SSS-Klimatologie-Daten für die ersten drei Fahrten), Chlorophyll-Satellitenbilder, klimatologische MLD-Daten, aber auch Parameter wie Nitrat zur Auswertung herangezogen.

Die Daten wurden zunächst, analog der Einteilung des Nordatlantiks in biogeochemische Provinzen nach *Longhurst* [1998], unter Zuhilfenahme der SST- und SSS-Daten in drei Gebiete unterteilt. Während es sich bei Gebiet I um die Schelfregion Grand Banks vor Neufundland (NWCS) handelt, haben vor allem im östlichen Bereich des Gebietes II (NADR)

an der Schelfkante, sowohl der aus dem Nordwesten kommende LC, als auch der GS einen starken saisonalen Einfluss auf die Wassermassencharakteristik und in Gebiet III (westliche NADR) dominiert der NAD.

Die breite Streuung in der Oberflächentemperatur- und Salinitätsverteilung, wie auch in den organischen Kohlenstoffkonzentrationen im Nordatlantik ist stark gekennzeichnet durch den Einfluss von Oberflächenströmungen (LC, GS und Eddies, die aus dem schleifenbildenden GS entstehen) und durch die saisonalen Variationen.

Die gemittelten winterlichen Hintergrundwerte des DOC entsprechen den von *Hansell et al.* [2009] modellierten DOC-Daten im Oberflächenwasser des Nordatlantiks und die Werte liegen um 20 % höher, als die angegebenen jährlichen klimatologischen DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser des subpolaren Ozeans. In allen drei Gebieten zeigt DOC ein deutliches saisonales Maximum im späten Juni mit einer großen Variabilität in den Messwerten und die winterlichen Hintergrundwerte (geringe Variabilität) werden im Oktober wieder erreicht. Die Streuung der Messwerte während der Blüten lässt sich aufgrund der unterschiedlichen DOC-Quellen erklären. Es ist ein Ost-West-Trend zu erkennen, der sich durch steigende saisonale DOC-Amplituden und steigende maximale Absolutwerte von West nach Ost auszeichnet.

Die POC / PON-Jahresgänge in der NADR-Provinz weisen Unterschied zur DOC-Saisonalität einen bimodalen Verlauf auf mit einer ausgeprägten Frühlingsblüte und einer Herbstblüte. Während letzterer wird der Nitrat-Pool nicht vollständig erschöpft, so dass kein Anstieg der DOM-Werte im Herbst beobachtet werden kann. Nach einem sommerlichen Maximum in den POM-Daten (starke Streuung der Messwerte) wird im Dezember der jeweilige uniforme winterliche Hintergrundwert wieder erreicht. Die POC / PON-Konzentrationen im Oberflächenozean des Nordatlantiks zeigen auch eine Längengradabhängigkeit: je weiter westlich, desto niedriger die saisonalen POC- und PON-Amplituden.

Die Chlorophyll-Satellitenbilder zeigen, dass Kohlenstoff dem DOM-Pool erst zeitverzögert nach der Phytoplanktonblüte zugeführt wird, dass eine zeitliche Diskrepanz des Auftretens der Hauptblüte in Gebiet II (Mai) und III (Ende Juni) vorliegt, und dass eine patchiness (regionale Variabilität der Primärproduktion), welche entlang einer Fahrtroute durchfahren wird, vor allem von Mai bis Oktober vorliegt, die in der breiten Streuung der gemessenen POM-Daten zum Zeitpunkt der Frühlingsblüten resultiert.

Die Nitratwerte des Oberflächenwassers im subpolaren Nordatlantik zeigen ein deutliches saisonales Signal mit einem winterlichen Maximum und einer Erschöpfung der Nährstoffe im frühen Sommer. Im westlichen Teil des Nordatlantiks ist das Nitrat im Mai erschöpft, im Osten erst im späten Juni und der Nährstoffpool wird im Osten früher wieder aufgefüllt (Spätsommer), als im Westen (später Herbst). Die maximale saisonale Nitrat-Amplitude liegt im westlichen NADR um 78 % höher, als die im östlichen Gebiet.

Die Nitratabhängigkeit des DOC besteht darin, dass die DOC-Werte stark ansteigen, sobald das Nitratvorkommen nahezu erschöpft ist. Kohlenstoffreiches Material wird anstelle des Nährstoffes als Sauerstoffquelle genutzt und DOC wird frei gesetzt. Im Westen ist das Phänomen stärker ausgeprägt als im Osten.

Die Jahresgänge in der MLD und den TOC-Konzentrationen sind gegenläufig: niedrige TOC-Konzentrationen werden im Winter beobachtet und erhöhte Konzentrationen im Frühjahr und Sommer während die Klimatologie der MLD des subpolaren Nordatlantiks von *Monterey et al.* [1997] in allen drei Gebieten die tiefste MLD im Februar zeigt (Maxima: Gebiet I: 240 m; Gebiet II: 420 m; Gebiet III: 634 m) und eine wenig tiefreichende durchmischte Deckschicht ab Mai (11 - 25 m). Der Beginn der TOC-Importphase stimmt überein mit der beginnenden Schichtung der Wassersäule (abnehmende MLD). Die TOC-Exportphase setzt in der NADR-Provinz Ende Juni ein und entspricht dem Übergang zur sommerlichen Oligotrophie [Longhurst, 1998]. Die NWCS-Region weist ein Minimum in den TOC-Werten im August (Copepoden-Peak) und eine zusätzliche Import-Phase (Herbstblüte) auf [Longhurst, 1998]. Das integrierte organische Kohlenstoff-Inventar der durchmischten Deckschicht ist im Februar in allen drei Gebieten am größten, da hier die MLD am tiefsten reicht und im Sommer sind sie aufgrund der Schichtung am geringsten.

Die Abweichung der aus dem saisonalen Verbrauch von Nitrat berechneten DIC-Senke vom POC-Aufbau, wie sie vor allem im Westen zu beobachten ist, wird der Freisetzung von DOC zugeschrieben. Jedoch ist die kalkulierte DIC-Zehrung erheblich größer als die Zunahme der DOC- und POC-Konzentrationen im Jahresgang. Dies lässt sich für den Osten durch biologische Prozesse erklären: als Export von POC aus der durchmischten Deckschicht durch Sinken der Partikel und durch saisonale vertikale Migration des Mesoplanktons im Westen, sowie durch den von Ducklow [1995] suggerierten DOC-Export. Bedeutender im Westen ist jedoch, dass die starke Variabilität neben der Biologie durch physikalische Prozesse (Advektion von LC-Wasser) zustande kommt.

Das durchschnittliche C : N-Verhältnis des insgesamt vorhandenen POM aller gemessenen Proben liegt bei 8,2 und damit oberhalb des „Körtzinger [2001]-Verhältnisses“ der neuen Produktion von 7,2. Es handelt sich um weniger stickstoffreiche organische Substanz in Folge von Nitrat-Mangel und der daraus resultierenden „carbon overconsumption“. Im NADR-Gebiet entspricht das C : N-Verhältnis des POM während der Frühjahrsblüte im Rahmen der Fehlergrenzen dem Verhältnis von 7,2. Auf dem Schelf von Grand Banks liegen im Sommer oligotrophe Bedingungen vor, was zu einer Abnahme in den absoluten POM-Werten (eingestellte Produktion) führt. Im gleichen Zeitraum liegt das Maximum der C : N-Verhältnisse im gesamten POM-Pool, was durch den Export von stickstoffreichem POM erklärt wird. Frühjährliche POC : PON-Verhältnisse unterhalb des Redfield-Verhältnisses im Osten werden eutrophen Bedingungen zugeschrieben: Das POM wird aufgrund des Nährstoffreichtums im Oberflächen-

wasser, in Folge der winterlichen Vertiefung der durchmischten Deckschicht, ständig frisch gebildet und besitzt daher einen relativ hohen Stickstoffanteil.

Die C : N-Verhältnisse des saisonal stark variablen frisch produziertem POM zeigen deutliche Abweichungen vom „Körtzinger-Verhältnis“. Das POM-System aller drei Gebiete geht von einer Stickstoffüberproduktion in eine Kohlenstoffüberproduktion vom Winter zum Spätsommer über. In der westlichen NWCS-Region liegen die sommerlichen C : N-Verhältnisse des saisonalen POM höher als in der östlichen NADR-Region. Im Frühjahr liegen die Werte in der NADR nahe dem Redfield- bzw. dem „Körtzinger-Verhältnis“ und bleiben während dieser Phase konstant. Der saisonale Abbau des POC geht einher mit niedriger werdenden C : N-Verhältnissen im saisonalem POM. Das bedeutet, dass verhältnismäßig mehr C- als N-Abbau statt findet. Aus den vorliegenden Daten lässt sich schließen, dass in den drei Gebieten unterschiedliche biologische Prozesse für die Bildung und den Abbau des biologischen Materials verantwortlich sind.

Im Anschluss an diese Arbeit sollte die Möglichkeit, parallel zur Messung einer Probe die nächste schon anzusäuern und den DIC auszutreiben, weiter verfolgt werden. Dies würde Zeit sparen und mehr Proben könnten pro Tag gemessen werden. Des Weiteren kann über die Verwendung eines anderen Katalysators, wie beispielsweise Pt auf Silica, welcher die möglicherweise stattfindende CO₂-Absorption durch das Al₂O₃ (derzeitiger Pt-Träger) minimieren würde, nachgedacht werden. Die routinemäßige Verwendung des Geräts wird derzeit wieder angestrebt und in diesem Rahmen sollten weitere Optimierungen des Messablaufes und ggf. eine Reinigung des Strahlenganges des Detektors stattfinden. Für die Kontrolle der Detektorfunktion könnte beispielsweise in regelmäßigen Abständen ein externer Detektor in den Probengasstrom nach dem geräteinternen Detektor geschaltet werden. Die Abweichung des „Humidifier“-Milli-Q-Wasserstandes von der „Hi“-Markierung hat einen erheblichen Einfluss auf die Messwerte innerhalb eines Analysetages. Diesen Fehler gilt es in weiteren Experimenten zu quantifizieren und durch z.B. den Einbau eines automatischen Auffüllsystems (Schwimmer und Pumpe) entgegen zu wirken. Ein absoluter Fehler in den POC / PON-Messungen kann nicht angegeben werden, denn für die hier zu analysierenden Parameter wurden keine Duplikate beprobt, so dass keine Aussage über die Standardabweichungen der POC- und PON-Ergebnisse möglich ist. In Zukunft sollten für die Bestimmungen von POC, PON und Chlorophyll auch regelmäßig Wasserproben als Duplikate oder bestenfalls Triplikate filtriert werden, um Aussagen über die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse machen zu können. Die Zusammensetzung von DOM, ebenso wie die Exportrate im Nordatlantik, sind zum größten Teil immer noch unbekannt. Eine bessere Kenntnis von Konzentrationen und Verteilung biochemischer Stoffe im Meer ist jedoch von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis biochemischer Stoffkreisläufe von bioaktiven Elementen, so dass das Interesse der Forschung zukünftig in diesem Bereich liegen sollte.

6 Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Arne Körtzinger, der mir die Möglichkeit gab meine Masterarbeit in der Chemischen Ozeanographie und darüber hinaus in seiner Arbeitsgruppe schreiben zu können. Vielen Dank für das große Verständnis und die Unterstützung!

Ich danke PD Dr. Hermann W. Bange für die erneute Übernahme der Rolle des Zweitgutachters und für die Möglichkeit der Teilnahme an der Poseidon Fahrt P399/2&3, während der ich viele wertvolle Erfahrungen gewinnen konnte und die mein Interesse an der chemischen Ozeanographie vertieft haben.

Ein großes Dankeschön an Dr. Tobias Steinhoff, der mir ein toller Betreuer war, mit sehr vielen Ratschlägen und der mir die Möglichkeit gegeben hat, viel lernen zu dürfen und viele positive Erfahrungen im Rahmen der M/V Atlantic Companion Fahrten sammeln zu können. Weiterhin danke für die Probenahmen an Bord der M/V Atlantic Companion und für Materialien, Problemlösungen und das nette Arbeitsklima.

Danke an Sebastian Fessler für die tolle Zusammenarbeit im TOC-Labor und die große Unterstützung während der analytischen Phase der Arbeit, sowie im Rahmen des M/V Atlantic Companion Projektes. Danke an Meike Becker und Damian Arévalo-Martínez für die Probenahme an Bord der M/V Atlantic Companion.

Ein besonderer Dank gilt den Kapitänen der M/V Atlantic Companion: Greger Wigur und Johan Sjöberg und ihren Mannschaften, stellvertretend seien Måns, Anneli, Andreas, Thomas, Ulf, Avelino, Guilberto, Joseph, Peter und Lars-Erik genannt. Danke für eine tolle Zeit an Bord und die große Hilfsbereitschaft zu jeder Tages- und Nachtzeit.

Danke an Frank Malien für die Nährstoffanalysen, die Experten-Hilfe bei sämtlichen Nährstoff-Fragen, für die Verbrauchsmaterialien und den ersten Kontakt, den ich mit der Nährstoff-Analytik während der M77/4 Expedition haben durfte.

Danke an Kerstin Nachtigall und Saskia Audritz für die Einarbeitung im POC / PON-Labor und die Unterstützung bei der analytischen Arbeit.

Ein spezieller lieber Dank an Dennis Booge für das immer offene Ohr und die große Hilfe. Vielen Dank an Dr. Eike Breitbarth für die Unterstützung in der Endphase dieser Arbeit.

Last but not least: DANKE an meine Mutter, Måns, Andi, Anna, meine Familie und Freunde für die riesige, wertvolle Unterstützung während meines gesamten Studiums, Verständnis, Geduld, Korrekturen und einfach ALLES!

7 Literaturverzeichnis

- Aldredge, A. L., M. W. Silver, *Prog. Oceanogr.*, **1988**, 20, 41.
- Álvarez-Salgado, X. A., A. E. Miller, *Mar. Chem.*, **1998**, 62, 325-333.
- Amon, R. M. W., G. Budéus, B. Meon, *Journal of Geophysical Research*, **2003**, 108, 3221–3238.
- Azam, R., T. Fenchel, J. G. Field, J. S. Gray, L. A. Meyer-Reil, R. Thingstad, *Mar Ecol. Prog. Ser.*, **1983**, 10, 257-263
- Banse, K., *Glob. Biogeochem. Cycles*, **1994**, 8, 81–84.
- Benner, R., B. von Bodungen, J. Farrington, J. Hedges, C. Lee, F. Mantoura, Y. Suzuki, P. M. Williams, *Mar. Chem.*, **1993**, 41, 5.
- Benner, R., M. Strom, *Mar. Chem.*, **1993a**, 41, 153-160.
- Billet, D. S. M., R. S. Lampitt, A. L. Rice, R. F. C. Mantoura, *Nature*, **1983**, *lond.* 302, 520-522.
- Broecker, W. S., *Oceanography*, **1991**, 4(2), 79-89.
- Broecker, W. S., T.-H. Peng, *Tracers in the Sea: Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York*, **1982**, 45-109.
- Carlson, C. A., Dennis A. Hansell, Norman B. Nelson, David A. Siegel, William M. Smethie, Samar Khatriwala, Meredith M. Meyers, E. Halewood, *Deep-Sea Research II*, **2010**, 57, 1433–1445.
- Carlson, C. A., H. W. Ducklow, *Deep-Sea Res. II*, **1995**, 42, 639.
- Carlson, C. A., H. W. Ducklow, A. F. Michaels, *Nature*, **1994**, 371, 405–408.
- Carlson, C. A., D. A. Hansell, E. T. Peltzer, J. Smith, W. O., *Deep-Sea Res. II*, **2000**, 47, 3201–3225.
- Cauwet, G., *Mar. Chem.*, **1994**, 47, 55-64.
- Cianca, A., P. Helmke, B. Mouriño, M. J. Rueda, O. Llinás, S. Neuer, *J. Geophys. Res.*, **2007**, 112, C07025.
- Collins, K. J., P. J. L. B. Williams, *Mar. Chem.*, **1977**, 5, 123.
- Copin-Montegut, C., G. Copin-Montegut, *Deep-Sea Research*, **1983**, 30, 31-46.
- Copin-Montégut, G., B. Avril, *Deep-Sea Research I*, **1993**, 40(10), 1963–1972.
- Dafner, E. V., P. J. Wangersky, *Journal of Environmental Monitoring*, **2002a**, 4, 48-54.
- Dafner, E. V., P. J. Wangersky, *Journal of Environmental Monitoring*, **2002b**, 4, 55-69.
- Dai, M., C. Benitez-Nelson, *Mar. Chem.*, **2001**, 74, 181-196.
- Deuser, W. G., *Deep Sea Res.*, **1986**, 33, 225-246.
- Dickson, A. G., C. L. Sabine, *Guide to best practices for ocean CO₂ measurements*, PICES Special Publication 3, **2007**.
- Ducklow, H. W., C. A. Carlson, N. R. Bates, A. H. Knap, A. F. Michaels, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, **1995**, 348, 161-167.
- Ducklow, H. W., D. A. Purdie, P. J. LeB Williams, J. M. Davies, *Science*, **1986**, 232, 865.
- Ducklow, H. W., D. K. Steinberg, K. O. Buesseler, *Oceanography*, **2001**, 14(4), 50–58.
- Duursma, E., *Neth. J. Sea Res.*, **1961**, 1, 1-148.
- Ehrhardt, M., W. Koeve, *Chapter 17: Determination of particulate organic carbon and nitrogen*, in *Methods of Seawater Analysis*, 3 ed. (Eds.: Klaus Grasshoff, et al.), WILEY-VCH, Weinheim, **1999**, 437-444.
- Emerson, S. R., J. I. Hedges, *Chemical Oceanography and the Marine Carbon Cycle*, Cambridge University Press, Cambridge, **2008**.
- Emery, W., J. Meincke, *Oceanol. Acta*, **1986**, 9, 383-391.
- Engel, A., S. Thoms, U. Riebesell, E. Rochelle-Newall, I. Zondervan, *Nature*, **2004**, 428, 929-932.
- Fuhrmann, J., *Nature*, **1999**, 399, 541-548.
- Gaul, W., A. Antia, W. Koeve, *Marine Ecology Progress Series*, **1999**, 189, 93-104.
- Gordon, D. C., *Deep-sea Res.*, **1969**, 16, 661.
- Gordon, D. C., *Deep-sea Res.*, **1977**, 24, 257.
- Hagell, G. T., R. Pocklington, *B/O, Report Series, BI-R-73-14.*, **1973**, 1–18.
- Hansell, D. A., *Mar. Chem.*, **1993**, 41, 195.
- Hansell, D. A., C. A. Carlson, D. J. Repeta, R. Schlitzer, *Oceanography*, **2009**, 22, 202-211.

- Hansell, D. A., C. A. Carlson, *Nature*, **1998a**, 395, 263-266.
- Hansell, D. A., C. A. Carlson, *Oceanography*, **2001**, 14, 41-49.
- Hansell, D. A., C. A. Carlson, *Deep-Sea Research II*, **2001a**, 48, 1649–1667.
- Hansell, D. A., C. A. Carlson, *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*, Academic press, San Diego, **2002**, 686.
- Hansell, D. A., E. Peltzer, *Deep Sea Res. II*, **1998**, 45, 2171-2193.
- Hansen, H. P., F. Koroleff, *Determination of nutrients*, Verlag Chemie, Weinheim, Germany, **1999**, 159– 228.
- Hedges, J. I., J. H. Stern, *Limnol. Oceanogr.*, **1984**, 29, 657.
- Hinrichsen, H.-H., M. Tomczak, *J. Geophys. Res.*, **1993**, 98(C6), 155–110,169.
- Houghton, R. A., *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **2007**, 35, 313–347.
- Jeffrey, S. W., G. F. Humphrey, *Biochem. Physiol. Pflanz.*, **1975**, 167, 191– 198.
- JGOFSprotocols, **1994**.
- Johnson, K. M., A. Körtzinger, L. Mintrop, J. C. Duinker, D. W. R. Wallace, *Mar. Chem.*, **1999**, 67, 123–144.
- Kähler, P., W. Koeve, *Deep-Sea Research I*, **2001**, 4849–4862.
- Kara, A. B., P. A. Rochford, H. E. Hurlburt, *J. Geophys. Res.*, **2003**, 108(C3).
- Kattner, G., *Chapter 9: Dissolved Organic and Particulate Nitrogen and Phosphorous*, in *Practical Guidelines for the analysis of seawater* (Ed.: O. Wurl), CRC Press,Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, **2009**, 33-48.
- Kerambrun, P., K.-H. Szekiolda, *Tethys*, **1969**, 1, 581.
- Koeve, W., *Mar. Chem.*, **2001**, 74, 245–260.
- Körtzinger, A., *Chem. Unserer Zeit*, **2010**, 44, 118-129.
- Körtzinger, A., W. Koeve, P. Kähler, L. Mintrop, *Deep-Sea Research I*, **2001**, 48 661-688.
- Lampert, W., *Limnol. Oceanogr.*, **1978**, 23, 831-834.
- Lampit, R. S., *Deep Sea Res.* , **1985**, 32, 885-897.
- Lochte, K., H. W. Ducklow, M. J. R. Fasham, C. Stienen, *Deep-sea Res. II*, **1993**, 40, 91.
- Lohrenz, S. E., J. J. Cullen, D. A. Phinney, D. B. Olson, C. S. Yentsch, *Journal of Geophysical Research*, **1993**, 98, C8, 14,545-514,560,.
- Longhurst, A., *Chapter 7: The Atlantic Ocean*, in *Ecological Geography of the sea*, Academic press, San Diego, **1998**, 99-193.
- Lüger, H., D. W. R. Wallace, A. Körtzinger, Y. Nojiri, *Global Biochem. Cycles*, **2004**, 18.
- MacKinnon, M. D., *Mar. Chem.*, **1979**, 8, 143-162.
- McCarthy, J. Hedges, R. Benner, *Science*, **1998**, 281, 231-234.
- Menzel, D. W., R. F. Vaccaro, *Limnol. Oceanogr.* , **1964**, 9, 138-142.
- Meybeck, M., *American Journal of Sciences*, **1982**, 282, 401-450.
- Monterey, G., S. Levitus, *Seasonal Variability of the MixedLayer Depth for the World Ocean*, US Gov. Printing Office, Wash., DC, **1997**.
- Nagata, T., D.Kirchmann, *Mar Ecol. Prog. Ser.*, **1996**, 132, 241-248.
- Oschlies, A., *J. Geophys. Res.*, **2002**, 107.
- Pilson, M. E. Q., *An Introduction to the Chemistry of the Sea*, Prentice Hall, NJ, USA, **1998**.
- Redfield, A. C., *James Johnstone Memorial Volume*, Liverpool, **1934**, 176-192
- Redfield, A. C., B.H. Ketchum, F. A. Richards, *The influence of organisms on the composition of seawater*, In: *The Sea*, Vol. 2, Wiley-Interscience, New York, **1963**, 26- 76.
- Reverdin, G., P., , P. Niiler, H. Valdimarsson, *J. Geophys. Res.*, **2003**, 108(C1).
- Richardson, P. L., *Gulf Stream rings*, Springer, Berlin, **1983b**, 19-45.
- Riebesell, U., A. Körtzinger, *MNF-bioc-231: Current Topics in Marine Biogeochemistry I* Kiel, **2011**.
- Riebesell, U., K. G. Schulz, R. G. J. Bellerby, M. Botros, P. Fritsche, M. Meyerhöfer, C. Neill, G. Nondal, A. Oschlies, J. Wohlers, E. Zöllner, *Nature*, **2007**, 450, 545-548.
- Riley, G. A., *Adv. Mar. Biol.* , **1970**, 8, 1-118.
- Sambrotto, R. N., G. Savidge, C. Robinson, P. Boyd, T. Takahashi, D. M. Karl, C. Langdon, D. Chipman, J. Marra, L. Codispoti, *Nature*, **1993**, 363, 248-250.
- Savenkoff, C., A.F. Vézina, S.Roy, B.Klein, C.Lovejoy, J.-C. Therriault, L.Legendre, R. Rvkin, C.Bérubé, J.-E.Tremblay, N.Silverberg, *Deep-Sea Res. II*, **2000**, 47, 585.

- Schuster, U., A. Hannides, L. Mintrop, A. Körtzinger, *Ocean Sci.*, **2009**, 5, 547–558.
- Sharp, J. H., *Mar. Chem.*, **1973**, 1, 211–229.
- Sharp, J. H., *Limnol. Oceanogr.*, **1974**, 19, 984.
- Sharp, J. H., C. A. Carlson, E. T. Peltzer, D. M. Castle-Ward, K. B. Savidge, K. R. Rinker, *Mar. Chem.*, **2002**, 77, 239–253.
- Shimadzu, C., *User`s Manual: Total Carbon Analyzer TOC-VSCN*, Kyoto, Japan, **2001**.
- Smetacek, V., B. v. Bodungen, B. Knoppers, R. Peinert, F. Pollehne, P. Stegmann, B. Zeitzschel, *Rapp. I-v. RLun. Cons. Int. Explor. Mer*, **1984**, 183, 126.
- Smith, D., M. Simon, A. Allredge, F. Azam, *Nature*, **1992**, 359, 139–142.
- Smith Jr., W. O., C. A. Carlson, H. W. Ducklow, D. A. Hansell, *Mar. Ecol.: Prog. Ser.*, **1998**, 168, 229–244.
- Sohrin, R., R. Sempere, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, **2005**, 110, (C10).
- Spyres, G., M. Nimmo, P. J. Worsfold, E. P. Achterberg, A. E. Miller, *Trends in analytical chemistry*, **2000**, 19, 498–506.
- Steinhoff, T., *Diplomarbeit*, IFM-GEOMAR, Kiel, **2004**.
- Steinhoff, T., *phD Thesis*, Universität zu Kiel, **2010**.
- Steinhoff, T., T. Friedrich, S. E. Hartman, A. Oschlies, D. W. R. Wallace, A. Körtzinger, *Biogeosciences*, **2010**, 7, 795–807.
- Tchernia, P., *Descriptive regional oceanography*, Vol. 3, 1 ed., Pergamon Marine Series, Oxford, **1980**.
- Thomson, R. E., I. V. Fine, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **2002**, 20, 319–329.
- Toggweiler, J. R., *Nature*, **1993**, 363, 210–211.
- Tomczak, M., J. S. Godfrey, *Chapter 14: The Atlantic Ocean*, in *Regional Oceanography: An introduction*, Vol. 1. Edit., Pergamon, Oxford, **1994**, 253–297.
- Tupas, L. M., B. N. Popp, D. M. Karl, *Mar. Chem.*, **1994**, 45, 207–216.
- Verdugo, P., e. al., *Mar. Chem.*, **2004**, 92, 67–85.
- Wangersky, P. J., *The Biology of Particles in Aquatic Systems*, 2 ed., Boca Raton, **1992**.
- Wangersky, P. J., *Marine Chemistry*, **1993**, 41, 61–74.
- Wiebinga, C., H. d. Baar, *chap. Mar. Chem.*, **1998**, 61, 185–201.
- Willey, J. D., R. J. Kieber, M. S. Eyman, G. B. Avery Jr., *Global Biogeochem. Cycl.*, **2000**, 14, 139–148.
- Williams, P. M., E. R. M. Druffel, *Nature*, **1987**, 330, 246–257.
- Wiltshire, K. H., *Chapter 10: Pigment Applications in Aquatic Systems*, in *Practical Guidelines for the analysis of seawater* (Ed.: O. Wurl), CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, **2009**, 191–222.
- Wurl, O., T. M. Sin, *Chapter 2: Analysis of Dissolved and Particulate Organic Carbon with the HTCO Technique*, in *Practical Guidelines for the analysis of seawater* (Ed.: O. Wurl), CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, **2009**, 33–48.
- Yoder, J. A., M. A. Kennelly, *Global Biogeochem. Cycles*, **2003**, 17(4), 1112.

8 Abkürzungsverzeichnis

| <u>Abkürzung</u> | <u>Term</u> |
|------------------------------------|---|
| ACL | Atlantic Container Lines |
| Al₂O₃ | Aluminiumoxid |
| CO₂ | Kohlenstoffdioxid |
| COC | colloidal organic carbon, kolloidaler organischer Kohlenstoff |
| C-Pumpe | Kohlenstoffpumpe |
| CRM | Certified Reference Material, Zertifiziertes Referenzmaterial |
| DIC | dissolved inorganic carbon, gelöster anorganischer Kohlenstoff |
| DIN | dissolved inorganic nitrogen, gelöster anorganischer Stickstoff |
| DOC | dissolved organic carbon, gelöster organischer Kohlenstoff |
| DOM | dissolved organic material, gelöstes organisches Material |
| DON | dissolved organic nitrogen, gelöster organischer Stickstoff |
| DSW | deep sea water, Tiefenseewasser (Referenzmaterial) |
| EDTA | Ethylendiamintetraessigsäure |
| ENACW | Eastern North Atlantic Central Water, östliches nordatlantisches Zentralwasser |
| FE | Flächeneinheiten |
| GFST | Gulf Stream Province, Golfstrom Provinz |
| Gl. | Gleichung |
| GPS | Global Positioning System |
| GS | Gulf Stream, Golfstrom |
| HCl | Salzsäure |
| HgCl₂ | Quecksilberchlorid |
| HMW | high molecular weight, hohes Molekulargewicht |
| HTCO | high-temperature combustion/catalytic oxidation, Hochtemperatur-Verbrennungs-Oxidation |
| ILD | isothermal layer depth |
| JGOFS | Joint Global Ocean Flux Study |
| KHP | Kaliumhydrogenphtalat |
| LC | Labrador Current, Labradorstrom |
| LCW | Low carbon water, Wasser mit geringem organischem Kohlenstoffgehalt |
| LMW | low molecular weight, geringes Molekulargewicht |
| min | Minuten |
| MLD | mixed layer depth, Tiefe der durchmischten Deckschicht |

| | |
|-----------------------------------|--|
| NAD | North Atlantic Drift, Nordatlantischer Strom |
| NADR | North Atlantic Drift Province, Nordatlantische Drift Provinz |
| NADR(E) | North Atlantic Drift Province East, NADR Ost |
| NADR(W) | North Atlantic Drift Province West, NADR West |
| NAST | North Atlantic Subtropical Gyre |
| NECS | Northeast Atlantic Continental Shelf, Nordöstliches Atlantisches Kontinentalschelf |
| NDIR | Non-Dispersive Infrared Absorption, Nicht-dispersives Infrarot |
| NO₃⁻ | Nitrat |
| NO₂⁻ | Nitrit |
| NWCS | Northwest Atlantic Continental Shelf, Nordwestliches Atlantisches Kontinentalschelf |
| ODV | Ocean Data View Programm |
| pCO₂ | CO ₂ Partialdruck |
| Δ(pCO₂) | CO ₂ Partialdruckdifferenz |
| POC | particulated organic carbon, partikulärer organischer Kohlenstoff |
| POM | particulated organic material, partikuläres organisches Material |
| PON | particulated organic nitrogen, partikulärer organischer Stickstoff |
| Pt | Platin |
| RoRo | Roll on - Roll off |
| SD | Standard deviation, Standardabweichung |
| SSS | sea surface salinity, Meeresoberflächen Salinität |
| SST | sea surface temperature, Meeresoberflächen Temperatur |
| SW | Seewasser |
| TC | total carbon, gesamter Kohlenstoff |
| TDN | total dissolved nitrogen, gesamter gelöster Stickstoff |
| TN | total nitrogen, gesamter Stickstoff |
| TOC | Total Organic Carbon, gesamter organischer Kohlenstoff |
| T/S | Temperatur / Salinität |
| UTC | Universal Time Coordinated |
| UV | Ultraviolett |
| VOC | volatile organic carbon, flüchtiger organischer Kohlenstoff |
| VOS | voluntary observing ships, freiwilliges Beobachtungsschiff |
| WLD | Wärmeleitfähigkeitsdetektor |
| WNACW | Western North Atlantic Central Water, Westliches nordatlantisches Zentralwasser |
| WOA | World Ocean Atlas |

9 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Schematische Einteilung in POC- und DOC-Fraktionen. Mit Veränderungen nach [Verdugo et al., 2004]..... | 12 |
| Abb. 2: Weltweite Verteilung von DOC [$\mu\text{mol kg}^{-1}$] in 30 m Tiefe. Kreise beschreiben beobachtete Werte, während der Hintergrund modelliert ist [Hansell et al., 2009]..... | 14 |
| Abb. 3: Schematische Darstellung der verschiedenen DOC-Quellen- und Senkenprozesse im marinen System. Mit Veränderungen nach [Hansell et al., 2002]..... | 16 |
| Abb. 4: Der marine Kohlenstoff-Kreislauf mit den Quellen- und Senken-Prozessen. Einheiten der angegebenen Zahlen: $\text{Pg} = 10^{15} \text{ g}$; Angaben in eckigen Klammern []: Reservoir-Größe in Pg; Angabe der Flussraten in Pg yr^{-1} . Mit Veränderungen nach [Riebesell et al., 2011]..... | 17 |
| Abb. 5: Schematische Darstellung der physikalischen und biologischen C-Pumpen (organische und anorganische C-Pumpe) und ihrer Wechselwirkung mit der thermohalinen Zirkulation [Körtzinger, 2010]..... | 19 |
| Abb. 6: Der marine organische Kohlenstoffkreislauf. Mit Veränderungen nach [Steinhoff, 2004]..... | 20 |
| Abb. 7: Einteilung des Nordatlantiks. — Mittelatlantischer Rücken - - - laterale Anstiege Kontinentalschelf. Mit Veränderungen nach [Tchernia, 1980]..... | 22 |
| Abb. 8: Oberflächenströmungen im Nordatlantik. Oben: Zyklonale und antizyklonale Zirkulation [Tchernia, 1980]. Unten: Abkürzungen: Nordatlantischer Strom (north atlantic current, NAC). Golfstrom (GS), subtropischer Wirbel (North Atlantic Subtropical Gyre, NAST), Labradorstrom (Labrador current, LC). - - - kalte Strömung; — warme Strömung. Mit Veränderungen nach [Emerson et al., 2008]..... | 25 |
| Abb. 9: Das Konzept der Eddy-Bildung in einem freien trägen Jet der nördlichen Hemisphäre und die assoziierte hydrographische Struktur. (a) Wege des Jets an aufeinander folgenden Zeiten 1 - 4. (b) Bildung eines zyklonalen (kalt-kernigen) Rings nach dem Zusammenschluss in Position A. Die äußere Linie gibt den Verlauf des GS nach der Ringbildung wieder, die gestrichelte Linie ist der Verlauf unmittelbar vor dem Ringschluss. (c) Bildung eines antizyklonalen (warm-kernigen) Ringes, wenn der Strom einen Zusammenschluss in Position B erfährt. H und L stehen für Hochdruck und Niederdruck [Richardson, 1983b]..... | 28 |
| Abb. 10: Der Labrador Strom. Links: durchschnittlicher Strom; Rechts: 30 Tage-Trajektorien von Driftern, vor und nach dem Durchqueren des Labradorstroms bei 50°N [Reverdin et al., 2003]..... | 29 |
| Abb. 11: Eigenständiges System zur kontinuierlichen Messung des $p\text{CO}_2$ im Oberflächenwasser des Atlantiks im Maschinenraum der M/V Atlantic Companion mit der Probenentnahmestelle für die diskreten Seewasserproben..... | 30 |
| Abb. 12: Karte zur Veranschaulichung der Fahrtrouten und der Lage der Probenahmen der verschiedenen M/V Atlantic Companion Fahrten sowie die Einteilung des Nordatlantiks nach [Longhurst, 1998]..... | 32 |
| Abb. 13: Schematische Darstellung des Messprinzips der HTCO-Methode..... | 34 |
| Abb. 14: Das Shimadzu TOC- V_{CSN} im Labor der marinen Biogeochemie, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Abb. 15: Flussdiagramm des TOC- V_{CSN} mit angeschlossener TN-Einheit der Firma Shimadzu, Japan [Shimadzu, 2001], die roten Kästen markieren Geräteparameter und -bauteile, die es vor jedem Messtag zu überprüfen gilt..... | 36 |
| Abb. 16: Befüllung des Katalysatorrohrs im TOC- V_{CSN} der Firma Shimadzu mit Veränderungen nach [Shimadzu, 2001]..... | 37 |
| Abb. 17: Bestückung eines selbstgepackten halogen-scrubber (A, unbenutzt) und Vergleich der visuellen Beurteilbarkeit des halogen-scrubber-Verbrauchs zwischen dem selbstgepackten scrubber (B) und dem gekauften scrubber der Firma Hekatech (C). Scrubber B und C sind vollständig verbraucht..... | 38 |
| Abb. 18: Oben: ermittelte TOC-Konzentrationen der $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC-Standards der fünf unterschiedlichen Katalysatorchargen; unten: Mittelwerte der $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ TOC-Standardflächen der fünf Katalysatorchargen..... | 41 |
| Abb. 19: Beispiel einer TOC-Kalibrierung mit KHP (08.09.2012), Daten siehe Tabelle 5..... | 44 |
| Abb. 20: Alle TOC-Kalibrationen mit KHP und der Mittelwert der Messungen..... | 45 |
| Abb. 21: Steigungen und Achsenabschnitte der linearen TOC-Regressions-Kalibriergraden im zeitlichen Verlauf (verschiedene Messtage): S = Steigung, A = Achsenabschnitt, K = Katalysatorcharge, St = Stammlösungscharge. Es handelt sich um zwei verschiedene Standardstammlösungen und jeweils drei verschiedene Katalysatorchargen, die verwendet wurden. Bei den Katalysatorchargen handelt es sich jeweils um andere Chargen, obwohl sie hier dieselbe Nummerierung erhalten..... | 46 |
| Abb. 22: Messungen der DSW-, LCW-, Blank- und Standardkonzentrationen ($60 \mu\text{mol L}^{-1}$ und $150 \mu\text{mol L}^{-1}$) in einer 2-Punktkalibrierung zur Kontrolle der Systemstabilität während eines Messtages (28.09.2012)..... | 48 |
| Abb. 23: Bestimmung der Referenzmaterialien-Konzentrationen. Daten siehe Tabelle 7..... | 48 |
| Abb. 24: Links: Carbonatplatten mit unterschiedlich stark beladenen POC-Probefiltern; Rechts: Carbonatbox mit rauchender Salzsäure zur Entfernung des anorganischen partikulären Kohlenstoffs..... | 54 |
| Abb. 25: links: Plexiglas-Filter-Transportbox [Ehrhardt et al., 1999]; rechts: Falten und Packen der Probenfilter in Zinnschiffchen als Vorbereitung auf die POC-Analyse..... | 54 |
| Abb. 26: Der CN-Elementaranalysator EuroEA der Firma HEKAtech GmbH im Labor des FB2 marine Biogeochemie, FE Biologische Ozeanographie, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel..... | 55 |
| Abb. 27: Flussdiagramm des EuroEA-Elementanalysators der Firma HEKAtech GmbH: Layout für CN-Bestimmung..... | 56 |
| Abb. 28: Beispiel einer PON-Kalibration mit Acetanilid und Bodenstandard..... | 60 |
| Abb. 29: Beispiel einer POC-Kalibration mit Acetanilid und Bodenstandard..... | 60 |
| Abb. 30: Lage der TOC / DOC-Probennahmen (nur zwischen $12,3^\circ\text{W}$ und $53,5^\circ\text{W}$ gezeigt) und die Einteilung des Nordatlantiks in drei Gebiete analog zu der Unterteilung des Nordatlantiks in biogeochemische Provinzen nach [Longhurst, 1998] (NADR: North Atlantic Drift, NWCS: Northwest Atlantic Continental Shelf) mit einer Unterteilung des NADR in West (W) und Ost (E) durch den Mittelatlantischen Rücken..... | 62 |

- Abb. 31:** Temperatur des Oberflächenwassers des Nordatlantiks im Jahresgang von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Die Fehlerbalken sind die Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: in-situ Daten; blau: Mittelwerte der in-situ Daten; grün: Mittelwerte der Klimatologie Daten. Gestrichelte Linie: abgeschätzter Jahresgang.....64
- Abb. 32:** Salinität des Oberflächenwassers des Nordatlantiks im Jahresgang von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Die Fehlerbalken sind die Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: in-situ Daten; gelb: klimatologische Daten; blau: Mittelwerte der in-situ Daten; grün: Mittelwerte der Klimatologie Daten. Gestrichelte Linie: abgeschätzter Jahresgang.....65
- Abb. 33:** T/S-Diagramm aller Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012, bei denen eine vollständige Beprobung stattfand. Die schwarze Linie stellt eine Abgrenzung der beiden zu erkennenden Zweige dar.....66
- Abb. 34:** T/S-Diagramm aller Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012, bei denen eine vollständige Beprobung stattfand. Die schwarzen Linien stellen Regressionsgeraden der jeweiligen Fahrten dar und zeigen die Saisonalität.....68
- Abb. 35:** Oberflächenströmungen im westlichen Nordatlantik: Das Zusammentreffen des kalten Labradorstroms (gepunktete Pfeile) mit dem warmen Golfstrom (durchgezogene Pfeile). Die gestrichelte Linie ist die 200 m-Isobathe; die schraffierte Linie repräsentiert die Front zwischen warmem und kaltem Wasser (nördliche Wand des Golfstroms). Zwischen dem Labradorwasser, welches das Schelf dominiert und dem Golfstrom liegt das gemischte Slope-Wasser [Longhurst, 1998].....69
- Abb. 36:** Saisonaler Zyklus von DOC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.....72
- Abb. 37:** Saisonaler Zyklus von POC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.....74
- Abb. 38:** Saisonaler Zyklus von PON im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.....75
- Abb. 39:** Chlorophyll a Konzentrationen von Oktober 2011 bis Oktober 2012. Satellitenbilder des Giovanni Ocean Portals: ocean color radiometry online visualization & analysis monthly data, MODIS Aqua 9 km [<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>].....77
- Abb. 40:** Saisonaler Zyklus von Nitrat im Oberflächenwasser des Nordatlantiks von Oktober 2011 bis 2012. Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte. Rot: gemessene Daten; Blau: monatliche Mittelwerte.....79
- Abb. 41:** Nitratabhängigkeit von DOC im Oberflächenwasser des Nordatlantiks. Die Fehlerbalken entsprechen den Standardabweichungen der Mittelwerte.....80
- Abb. 42:** Tiefe der durchmischten Deckschicht (MLD) im Nordatlantik im Jahresgang von Dezember bis Oktober. Klimatologische Daten von *Monterey et al.* [1997] auf Grundlage von potentiellen Temperaturunterschieden von 0,5°C zwischen Oberfläche und Tiefe.....82
- Abb. 43:** Saisonaler Zyklus von monatlich gemittelten klimatologischen MLD und dem organischen Kohlenstoffbudget im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012.....84

- Abb. 44:** Veränderung in der Größe des C-Pools: Jahreshang des durch Respirationprozesse verbrauchten DIC, der über den Verbrauch des Nitrates berechnet wurde mit einem C : N-Respirations-Verhältnis von 7,2 und der Vergleich mit dem Aufbau von organischem Kohlenstoff (Δ POC und Δ DOC) im Oberflächenwasser des Nordatlantiks.....86
- Abb. 45:** Saisonalität des C : N-Verhältnisses im gesamten POM im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012. Die gestrichelte Linie entspricht dem von [Körtzinger *et al.*, 2001] beschriebenen C : N-Verhältnis von 7,2.....88
- Abb. 46:** Saisonalität der C : N-Verhältnisse des frisch produzierten POM im Nordatlantik von Oktober 2011 bis 2012. Die gestrichelte Linie entspricht dem von Körtzinger *et al.* [2001] beschriebenen C : N-Verhältnis von 7,2.....90

10 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Größenordnungseinschätzung der Konzentrationen verschiedener Klassen von organischem Kohlenstoff im Seewasser und ihre ungefähren prozentualen Anteile am TOC. Mit Veränderungen nach [Pilson, 1998]..... | 13 |
| Tabelle 2: Beschreibung der M/V Atlantic Companion Fahrten, auf denen diskrete Proben für diese Arbeit genommen wurden. Angabe der Anzahl an Proben und der jeweiligen Probenden..... | 32 |
| Tabelle 3: Stoffmengen und Soll-Einwaagen der Standardsubstanzen Kaliumhydrogenphthalat (KHP, 8C) und Ammoniumchlorid (NH ₄ Cl, 1N)..... | 43 |
| Tabelle 4: Herstellung der fünf Standardlösungen (je 100 mL) aus der Stammlösung für die tägliche Kalibrierung..... | 44 |
| Tabelle 5: Daten der beispielhaften TOC-Kalibrierung mit KHP (Abbildung 17)..... | 45 |
| Tabelle 6: Steigungen und Achsenabschnitte der linearen TOC-Regressions-Kalibriergraden im zeitlichen Verlauf. Daten der Abbildung 21..... | 47 |
| Tabelle 7: Daten der Bestimmung der Referenzmaterialien-Konzentrationen und der Messungen der DSW-, LCW- und Standardkonzentrationen in einer 2-Punktkalibrierung zur Kontrolle der Systemstabilität während eines Messtages (28.09.2012)..... | 49 |
| Tabelle 8: Einwaagen für die Herstellung der Stammlösungen für das Katalysatoreffizienz-Experiment und Volumina für die Verdünnungsreihen..... | 50 |
| Tabelle 9: Ergebnisse des Katalysatoreffizienz-Experiments für die Kohlenstoffkomponenten: Thioharnstoff, Harnstoff und EDTA..... | 50 |
| Tabelle 10: CN-Instrumentenparameter, die über die CN-Software <i>Callidus</i> eingestellt werden..... | 56 |
| Tabelle 11: Anzahl an Probeninjektionen, nach denen ein Wechsel bestimmter Geräteteile notwendig ist (Counter limits)..... | 58 |
| Tabelle 12: Probenfolge der täglichen Kalibrierung des CN-EuroEA-Elementanalysators mit Acetanilid und Bodenstandards und die entsprechenden enthaltenen Massen an Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N)..... | 59 |
| Tabelle 13: Daten der POC-und PON-Kalibrierung mit Acetanilid und Bodenstandard..... | 59 |
| Tabelle 14: Einteilung des Nordatlantiks und der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten in drei Gebiete analog zu Longhurst [1998] mit einer Unterteilung des NADR in West (W) und Ost (E) durch den Mittelatlantischen Rücken..... | 63 |
| Tabelle 15: Berechnung der winterlichen Hintergrundwerte aller zu betrachtenden Parameter gegliedert nach den Gebieten I bis III unter Angabe der verwendeten monatlichen Daten..... | 70 |

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Mirja Kristin Dunker, an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit

„Saisonalität von organischem Kohlenstoff im Oberflächenwasser des subpolaren
Nordatlantiks“

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der aufgeführten Hilfsmittel angefertigt habe.

Mirja K. Dunker

Tabelle I: Tägliche Messprozedur TOC / TN

| Probenpos. | Proben ID | Art der Probe |
|------------|------------|-----------------------|
| 1 | blank | blank |
| 2 | blank | blank |
| 3 | 30C / 7N | Kalibration |
| 4 | 60C / 14N | |
| 5 | 90C / 21N | |
| 6 | 120C / 28N | |
| 7 | 150C / 35N | |
| 8 | DSW | DSW |
| 9 | LCW | LCW |
| 10 | sample 1 | |
| 11 | sample 2 | |
| 12 | sample 3 | |
| 13 | sample 4 | |
| 14 | HCl | Katalysator-Reinigung |
| 15 | blank | |
| 16 | LCW | LCW |
| 17 | sample 5 | |
| 18 | sample 6 | |
| 19 | sample 7 | |
| 20 | sample 8 | |
| 21 | blank | blank |
| 22 | 60C / 14N | mini Kalibration |
| 23 | 150C / 35N | |
| 24 | DSW | DSW |
| 25 | sample 9 | |
| 26 | sample 10 | |
| 27 | sample 11 | |
| 28 | sample 12 | |
| 29 | HCl | Katalysator-Reinigung |
| 30 | blank | |
| 31 | LCW | LCW |
| 32 | sample 13 | |
| 33 | sample 14 | |
| 34 | sample 15 | |
| 35 | sample 16 | |
| 36 | blank | blank |
| 37 | 60C / 14N | mini Kalibration |
| 38 | 150C / 35N | |
| 39 | DSW | DSW |
| 40 | sample 17 | |
| 41 | sample 18 | |
| 42 | sample 19 | |
| 43 | sample 20 | |
| 44 | HCl | Katalysator-Reinigung |
| 45 | blank | |
| 46 | LCW | LCW |
| 47 | sample 21 | |
| 48 | sample 22 | |
| 49 | sample 23 | |
| 50 | sample 24 | |
| 51 | blank | blank |
| 52 | 30C / 7N | Kalibration |
| 53 | 60C / 14N | |
| 54 | 90C / 21N | |
| 55 | 120C / 28N | |
| 56 | 150C / 35N | |
| 57 | DSW | DSW |
| 58 | LCW | LCW |
| 59 | HCl | Katalysator-Reinigung |
| 60 | HCl | |

Tabelle II: Einteilung der Probenahme-Stationen in drei Gebiete

| Companion Fahrt Nr. | Monat | Gebiet I | Gebiet II | Gebiet III |
|------------------------|--------------|------------|----------------------------------|------------------------|
| | | Station # | Station # | Station # |
| COM 11-17 | Oktober `11 | - | 11, 13, 15, 16, 17, 19, 21 | 3, 4, 5, 7, 9, 10 |
| COM 11-20 | Dezember `11 | 6 | 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20 | 21, 23, 25, 26 |
| COM 12-03 | Februar `12 | 4, 6, 8, 9 | 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21 | 22, 24, 26, 27, 28, 30 |
| COM 12-05 | März `12 | 1, 2, 3 | 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15 | 16, 18, 21, 22, 24, 26 |
| COM 12-08 | Mai `12 | 23, 25 | 11, 13, 17, 19, 21, 22 | 3, 4, 5, 7, 9, 10 |
| COM 12-11 | Juni `12 | 1, 2, 3, 4 | 5, 7, 9, 10, 11, 13 | 19, 21, 22 |
| COM 12-14 | August `12 | 1, 3, 4, 6 | - | - |
| COM 12-17 | Oktober `12 | 1, 3, 6 | 7, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 18 | 19, 21, 23, 24, 25, 27 |

Tabelle III: Alle Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012: Messdaten

Die folgenden Tabellen geben die M/V Atlantic Companion Fahrten und die entsprechenden Probenahmen-Stationen mit den Positionsdaten wieder. Des Weiteren sind die zur Auswertung herangezogenen Messwerte der SSS und der SST, sowie der NO_3^- -, TOC-, POC- und PON-Proben aufgeführt. Die DOC-Werte wurden berechnet.

Bei den SSS-Daten der Fahrten COM11-17, COM11-20 und COM12-03 handelt es sich um klimatologische Daten des WOA.

Leere Zellen besagen, dass keine Beprobung stattfand oder kein Messwert vorliegt.

Tabelle III: Alle Stationen der M/V Atlantic Companion Fahrten von Oktober 2011 bis Oktober 2012: Messdaten

| Fahrt | Station | Datum | Zeit | Longitude [°E] | Latitude [°N] | SST [°C] | SSS [PSU] | Dichte [kg/L] | NO ₃ ⁻ [μmol/kg] | TOC [μmol/kg] | POC [μmol/kg] | PON [μmol/kg] | DOC [μmol/kg] |
|----------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| COM11-17 | 1 | 10/18/11 | 12:12:00 | -11,2801 | 51,427 | 14,29 | 35,451 | 1,02654 | 2,5 | 59,49 | 11,06 | 1,21 | 48,42 |
| COM11-17 | 2 | 10/18/11 | 15:03:00 | -12,3455 | 51,5035 | 14,380 | | 0,99919 | 3,1 | | | | |
| COM11-17 | 3 | 10/18/11 | 18:00:00 | -13,4549 | 51,5601 | 14,860 | 35,419 | 1,02640 | 3,2 | 71,72 | 12,92 | 1,46 | 58,81 |
| COM11-17 | 4 | 10/18/11 | 21:26:00 | -14,9613 | 51,6130 | 14,270 | 35,452 | 1,02654 | 2,8 | 78,69 | 13,18 | 1,22 | 65,51 |
| COM11-17 | 5 | 10/19/11 | 07:56:00 | -19,7920 | 51,6754 | 14,100 | 35,405 | 1,02654 | 2,3 | 86,44 | 15,02 | 1,88 | 71,42 |
| COM11-17 | 6 | 10/19/11 | 10:08:00 | -20,7337 | 51,6860 | 14,060 | | 0,99924 | 3,5 | | | | |
| COM11-17 | 7 | 10/19/11 | 13:00:00 | -21,9474 | 51,6475 | 15,230 | 35,335 | 1,02625 | 1,9 | 82,21 | 11,98 | 1,30 | 70,23 |
| COM11-17 | 8 | 10/19/11 | 16:00:00 | -23,0734 | 51,6078 | 13,510 | | 0,99931 | 2,4 | | | | |
| COM11-17 | 9 | 10/19/11 | 19:02:00 | -24,2575 | 51,5664 | 13,850 | 35,245 | 1,02647 | 2,1 | 80,47 | 15,91 | 1,85 | 64,56 |
| COM11-17 | 10 | 10/19/11 | 22:50:00 | -25,7730 | 51,4828 | 13,600 | 35,199 | 1,02648 | 1,1 | 91,42 | 26,43 | 3,15 | 64,99 |
| COM11-17 | 11 | 10/20/11 | 08:06:00 | -29,8609 | 51,1687 | 13,600 | 35,000 | 1,02633 | 1,4 | 76,23 | 16,12 | 1,94 | 60,10 |
| COM11-17 | 12 | 10/20/11 | 11:00:00 | -30,7093 | 51,0912 | 12,090 | | 0,99949 | 2,9 | | | | |
| COM11-17 | 13 | 10/20/11 | 13:58:00 | -31,8685 | 50,9527 | 12,650 | 34,901 | 1,02644 | 1,5 | 83,49 | 15,27 | 1,84 | 68,22 |
| COM11-17 | 14 | 10/20/11 | 17:07:00 | -33,0902 | 50,8105 | 12,520 | | 0,99944 | 0,6 | | | | |
| COM11-17 | 15 | 10/20/11 | 20:00:00 | -34,1965 | 50,6736 | 12,220 | 34,799 | 1,02644 | 0,4 | 69,93 | 32,58 | 3,68 | 37,34 |
| COM11-17 | 16 | 10/20/11 | 23:02:00 | -35,3426 | 50,4984 | 12,040 | 34,745 | 1,02643 | 1,0 | 75,88 | 21,35 | 2,43 | 54,53 |
| COM11-17 | 17 | 10/21/11 | 08:09:00 | -38,7362 | 49,9491 | 13,160 | 34,608 | 1,02611 | 0,2 | 100,36 | 23,69 | 2,32 | 76,67 |
| COM11-17 | 18 | 10/21/11 | 10:56:00 | -39,7679 | 49,7527 | 13,750 | | 0,99928 | 1,2 | | | | |
| COM11-17 | 19 | 10/21/11 | 14:06:00 | -40,9595 | 49,5386 | 16,230 | 34,361 | 1,02528 | 0,0 | 85,88 | 14,28 | 1,45 | 71,60 |
| COM11-17 | 20 | 10/21/11 | 16:52:00 | -41,9405 | 49,3411 | 12,940 | | 0,99939 | 0,0 | | | | |
| COM11-17 | 21 | 10/21/11 | 20:03:00 | -43,0881 | 49,0870 | 12,580 | 34,009 | 1,02576 | 0,0 | 104,35 | 16,20 | 1,86 | 88,15 |
| COM11-17 | 22 | 10/21/11 | 22:04:00 | -43,8412 | 48,9244 | 12,550 | | 0,99943 | 0,0 | | | | |
| COM11-17 | 23 | 10/22/11 | 13:00:00 | -49,0070 | 47,6024 | 9,000 | 32,486 | 1,02517 | 0,0 | 101,18 | | | |
| COM11-20 | 5 | 12/08/11 | 13:45:00 | -50,0534 | 47,6116 | 4,037 | | 0,99997 | 4,3 | | | | |
| COM11-20 | 6 | 12/08/11 | 15:57:00 | -49,2688 | 47,9546 | 3,46 | 32,966 | 1,02622 | 6,5 | 70,38 | 7,17 | 0,92 | 63,21 |
| COM11-20 | 7 | 12/08/11 | 18:52:00 | -48,1687 | 48,4002 | 5,69 | | 0,99995 | 13,8 | | | | |
| COM11-20 | 8 | 12/08/11 | 21:53:00 | -47,0474 | 48,8582 | 7,56 | 33,757 | 1,02638 | 9,6 | 77,73 | 7,88 | 1,15 | 69,84 |
| COM11-20 | 9 | 12/09/11 | 00:25:00 | -45,9948 | 49,2639 | 7,80 | 33,949 | 1,02650 | 13,8 | 66,18 | 6,81 | 1,05 | 59,36 |
| COM11-20 | 10 | 12/09/11 | 08:47:00 | -42,1570 | 50,5734 | 12,39 | 34,450 | 1,02613 | 16,4 | 70,05 | 4,04 | 0,51 | 66,01 |
| COM11-20 | 11 | 12/09/11 | 11:59:00 | -40,6780 | 51,0644 | 9,85 | | 0,99972 | 13,4 | | | | |
| COM11-20 | 12 | 12/09/11 | 14:59:00 | -39,2666 | 51,4466 | 8,52 | 34,667 | 1,02696 | 17,4 | 86,77 | 5,24 | 0,75 | 81,53 |
| COM11-20 | 13 | 12/09/11 | 17:50:00 | -37,8189 | 51,4937 | 8,84 | | 0,99980 | 21,3 | | | | |
| COM11-20 | 14 | 12/09/11 | 21:20:00 | -36,0417 | 51,5655 | 9,57 | 34,746 | 1,02685 | 18,9 | 66,27 | 4,38 | 0,60 | 61,88 |
| COM11-20 | 15 | 12/09/11 | 23:48:00 | -34,7934 | 51,5413 | 8,97 | 34,787 | 1,02698 | 21,3 | 74,42 | 7,96 | 1,07 | 66,46 |
| COM11-20 | 16 | 12/10/11 | 08:52:00 | -30,2604 | 51,3862 | 9,25 | 34,996 | 1,02710 | 20,7 | 78,96 | 4,29 | 0,55 | 74,68 |
| COM11-20 | 17 | 12/10/11 | 12:06:00 | -28,6787 | 51,3888 | 10,10 | | 0,99969 | 18,7 | | | | |
| COM11-20 | 18 | 12/10/11 | 15:14:00 | -27,1310 | 51,3619 | 10,93 | 35,171 | 1,02696 | 16,8 | 76,63 | 4,57 | 0,66 | 72,06 |
| COM11-20 | 19 | 12/10/11 | 17:50:00 | -25,8600 | 51,2850 | 11,29 | | 0,99958 | 13,2 | | | | |
| COM11-20 | 20 | 12/10/11 | 20:43:00 | -24,4704 | 51,2922 | 11,33 | 35,296 | 1,02699 | 12,1 | 79,97 | 4,29 | 0,52 | 75,67 |
| COM11-20 | 21 | 12/11/11 | 08:25:00 | -19,1902 | 50,7643 | 12,34 | 35,487 | 1,02695 | 12,2 | 78,80 | 3,38 | 0,45 | 75,42 |
| COM11-20 | 22 | 12/11/11 | 11:02:00 | -18,0026 | 50,7522 | 12,48 | | 0,99944 | 11,0 | | | | |
| COM11-20 | 23 | 12/11/11 | 14:02:00 | -16,6369 | 50,8203 | 12,44 | 35,534 | 1,02697 | 10,3 | 65,74 | 4,58 | 0,57 | 61,17 |
| COM11-20 | 24 | 12/11/11 | 16:49:00 | -15,3604 | 50,8767 | 12,71 | | 0,99941 | 8,6 | | | | |
| COM11-20 | 25 | 12/11/11 | 19:51:00 | -13,9902 | 50,9880 | 12,24 | 35,516 | 1,02699 | 8,6 | 77,44 | 4,95 | 0,61 | 72,49 |

Tabellenanhang

| Fahrt | Station | Datum | Zeit | Longitude [°E] | Latitude [°N] | SST [°C] | SSS [PSU] | Dichte [kg/L] | NO ₃ ⁻ [μmol/kg] | TOC [μmol/kg] | POC [μmol/kg] | PON [μmol/kg] | DOC [μmol/kg] |
|----------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| COM11-20 | 26 | 12/11/11 | 22:58:00 | -12,5666 | 51,1154 | 12,31 | 35,467 | 1,02694 | 7,5 | 63,68 | 6,86 | 0,90 | 56,82 |
| COM11-20 | 27 | 12/12/11 | 10:30:00 | -6,9458 | 51,8660 | 11,77 | | 0,99953 | 7,1 | 73,48 | | | |
| COM11-20 | 28 | 12/12/11 | 12:42:00 | -5,9566 | 52,1920 | 12,26 | | 0,99947 | 6,1 | | | | |
| COM12-03 | 1 | 02/10/12 | 19:56:00 | -57,8187 | 44,5569 | 2,930 | | 0,99997 | | | | | |
| COM12-03 | 2 | 02/10/12 | 22:59:00 | -56,7004 | 44,6050 | 3,520 | | 0,99997 | | | | | |
| COM12-03 | 4 | 02/11/12 | 11:44:00 | -51,8932 | 44,7554 | 3,013 | 32,543 | 1,02593 | | 73,22 | 7,98 | 0,94 | 65,24 |
| COM12-03 | 5 | 02/11/12 | 13:53:00 | -51,0963 | 44,7814 | 3,277 | | 0,99997 | 4,7 | | | | |
| COM12-03 | 6 | 02/11/12 | 17:08:00 | -49,9276 | 45,0275 | 3,135 | 32,994 | 1,02627 | | 68,52 | 7,17 | 0,87 | 61,35 |
| COM12-03 | 7 | 02/11/12 | 19:56:00 | -49,0098 | 45,4101 | 2,253 | | 0,99995 | 5,4 | | | | |
| COM12-03 | 8 | 02/11/12 | 13:26:24 | -48,0621 | 45,7573 | 1,457 | 33,478 | 1,02679 | | 67,02 | 4,36 | 0,54 | 62,65 |
| COM12-03 | 9 | 02/12/12 | 00:32:00 | -45,9074 | 46,4234 | 1,874 | 34,088 | 1,02725 | 8,2 | 65,91 | 7,54 | 0,94 | 58,38 |
| COM12-03 | 10 | 02/12/12 | 10:46:00 | -43,9209 | 47,0375 | 4,765 | 34,630 | 1,02742 | | 80,35 | 5,16 | 0,68 | 75,20 |
| COM12-03 | 11 | 02/12/12 | 12:50:00 | -43,1674 | 47,2615 | 5,724 | | 0,99995 | 8,3 | | | | |
| COM12-03 | 12 | 02/12/12 | 16:12:00 | -41,9115 | 47,6595 | 9,995 | 35,015 | 1,02700 | | 70,30 | 6,10 | 0,79 | 64,20 |
| COM12-03 | 13 | 02/12/12 | 20:20:00 | -40,3750 | 48,0894 | 13,822 | | 0,99927 | 5,0 | | | | |
| COM12-03 | 14 | 02/12/12 | 21:58:00 | -39,7549 | 48,2135 | 11,671 | 35,273 | 1,02691 | | 69,36 | 5,16 | 0,68 | 64,20 |
| COM12-03 | 15 | 02/12/12 | 23:55:00 | -38,9986 | 48,3777 | 12,479 | 35,303 | 1,02678 | 6,4 | 63,63 | 3,63 | 0,44 | 60,00 |
| COM12-03 | 16 | 02/13/12 | 09:42:00 | -35,0498 | 49,3142 | 12,204 | 35,197 | 1,02675 | 7,6 | 56,85 | 3,90 | 0,43 | 52,95 |
| COM12-03 | 17 | 02/13/12 | 11:49:00 | -34,1703 | 49,4697 | 12,241 | | 0,99947 | 7,4 | | | | |
| COM12-03 | 18 | 02/13/12 | 14:59:00 | -32,8553 | 49,6856 | 11,054 | 35,164 | 1,02693 | | 60,47 | 4,86 | 0,53 | 55,61 |
| COM12-03 | 19 | 02/13/12 | 18:07:00 | -31,5874 | 49,8897 | 11,641 | | 0,99954 | 8,2 | | | | |
| COM12-03 | 20 | 02/13/12 | 20:46:00 | -30,4772 | 50,0577 | 11,643 | 35,214 | 1,02687 | | 64,76 | 3,59 | 0,39 | 61,17 |
| COM12-03 | 21 | 02/13/12 | 23:56:00 | -29,0877 | 50,2360 | 12,143 | 35,252 | 1,02680 | 8,4 | 58,89 | 4,41 | 0,50 | 54,48 |
| COM12-03 | 22 | 02/14/12 | 10:18:00 | -24,5819 | 50,7822 | 11,472 | 35,330 | 1,02699 | 8,1 | 61,37 | 5,24 | 0,54 | 56,13 |
| COM12-03 | 23 | 02/14/12 | 11:54:00 | -23,8668 | 50,8609 | 11,938 | | 0,99951 | 8,5 | | | | |
| COM12-03 | 24 | 02/14/12 | 14:46:00 | -22,5856 | 50,9555 | 11,986 | 35,366 | 1,02692 | | 62,34 | 4,30 | 0,47 | 58,04 |
| COM12-03 | 25 | 02/14/12 | 17:33:00 | -21,3250 | 51,0441 | 11,654 | | 0,99954 | 8,8 | | | | |
| COM12-03 | 26 | 02/14/12 | 21:16:00 | -19,6377 | 51,1539 | 11,593 | 35,436 | 1,02705 | 0,0 | 66,83 | 4,18 | 0,51 | 62,65 |
| COM12-03 | 27 | 02/14/12 | 22:51:00 | -18,9183 | 51,1873 | 12,381 | 35,449 | 1,02691 | 7,5 | 69,61 | 4,41 | 0,51 | 65,20 |
| COM12-03 | 28 | 02/15/12 | 08:44:00 | -14,5378 | 51,3058 | 11,720 | 35,487 | 1,02706 | 9,3 | 63,85 | 3,97 | 0,48 | 59,88 |
| COM12-03 | 29 | 02/15/12 | 11:04:00 | -13,5118 | 51,3126 | 11,716 | | 0,99953 | 8,6 | | | | |
| COM12-03 | 30 | 02/15/12 | 13:49:00 | -12,3068 | 51,3111 | 11,796 | 35,445 | 1,02702 | | 59,80 | 3,90 | 0,45 | 55,90 |
| COM12-03 | 31 | 02/15/12 | 17:03:00 | -10,8927 | 51,2718 | 11,680 | | 0,99954 | 8,5 | | | | |
| COM12-03 | 32 | 02/15/12 | 19:30:00 | -9,8080 | 51,2548 | 11,201 | | 0,99959 | 8,8 | 71,42 | 4,55 | 0,52 | 66,87 |
| COM12-05 | 1 | 03/17/12 | 18:18:00 | -51,8038 | 46,7219 | 1,479 | 32,590 | 1,02608 | 5,9 | 75,37 | 7,28 | 0,96 | 68,09 |
| COM12-05 | 2 | 03/17/12 | 22:11:00 | -50,2765 | 47,1978 | 1,483 | 32,880 | 1,02631 | 5,9 | 72,78 | 10,59 | 1,47 | 62,19 |
| COM12-05 | 3 | 03/18/12 | 01:00:00 | -49,1174 | 47,5136 | 1,021 | 32,990 | 1,02643 | 6,3 | 66,06 | 7,45 | 1,15 | 58,60 |
| COM12-05 | 4 | 03/18/12 | 10:17:00 | -45,2970 | 48,5545 | 3,849 | 34,345 | 1,02729 | 10,2 | 84,52 | 6,91 | 1,04 | 77,60 |
| COM12-05 | 5 | 03/18/12 | 13:15:00 | -44,0105 | 48,8521 | 5,634 | 34,187 | 1,02697 | 8,6 | | | | |
| COM12-05 | 6 | 03/18/12 | 16:27:00 | -42,6503 | 49,1693 | 7,305 | 34,557 | 1,02704 | 8,8 | 77,44 | 9,13 | 1,30 | 68,31 |
| COM12-05 | 7 | 03/18/12 | 19:07:00 | -41,4255 | 49,4351 | 12,212 | 35,270 | 1,02681 | 7,4 | | | | |
| COM12-05 | 8 | 03/18/12 | 21:50:00 | -40,1827 | 49,6799 | 12,527 | 35,550 | 1,02696 | 7,9 | 68,34 | 6,15 | 0,74 | 62,19 |
| COM12-05 | 9 | 03/19/12 | 00:15:00 | -38,0913 | 50,0311 | 11,926 | 35,320 | 1,02690 | 7,8 | | 8,43 | 1,22 | -8,43 |
| COM12-05 | 10 | 03/19/12 | 09:12:00 | -35,3070 | 50,4988 | 11,696 | 35,280 | 1,02691 | 7,8 | 71,68 | 7,18 | 1,02 | 64,50 |
| COM12-05 | 11 | 03/19/12 | 12:02:00 | -34,0781 | 50,6470 | 9,850 | 34,810 | 1,02686 | 10,1 | | | | |
| COM12-05 | 12 | 03/19/12 | 15:04:00 | -32,9193 | 50,8149 | 9,928 | 34,810 | 1,02685 | 9,5 | 66,84 | 8,15 | 1,31 | 58,69 |
| COM12-05 | 13 | 03/19/12 | 18:04:00 | -31,7626 | 50,9517 | 11,447 | 35,250 | 1,02693 | 8,8 | | | | |

Tabellenanhang

| Fahrt | Station | Datum | Zeit | Longitude [°E] | Latitude [°N] | SST [°C] | SSS [PSU] | Dichte [kg/L] | NO ₃ ⁻ [μmol/kg] | TOC [μmol/kg] | POC [μmol/kg] | PON [μmol/kg] | DOC [μmol/kg] |
|----------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| COM12-05 | 14 | 03/19/12 | 20:57:00 | -30,6116 | 51,0643 | 10,845 | 35,230 | 1,02702 | 9,8 | 67,41 | 6,62 | 0,89 | 60,80 |
| COM12-05 | 15 | 03/20/12 | 00:16:00 | -29,3143 | 51,1736 | 9,476 | 34,890 | 1,02698 | 10,5 | 65,46 | 9,91 | 1,39 | 55,55 |
| COM12-05 | 16 | 03/20/12 | 09:06:00 | -25,8591 | 51,4647 | 11,838 | 35,460 | 1,02702 | 8,3 | 74,74 | 8,21 | 1,17 | 66,53 |
| COM12-05 | 17 | 03/20/12 | 11:57:00 | -24,7437 | 51,5044 | 11,074 | 35,261 | 1,02700 | 9,3 | | | | |
| COM12-05 | 18 | 03/20/12 | 15:01:00 | -23,5240 | 51,5822 | 10,864 | 35,004 | 1,02684 | 9,1 | 65,06 | 7,53 | 1,02 | 57,53 |
| COM12-05 | 19 | 03/20/12 | 17:57:00 | -22,3778 | 51,6315 | 10,432 | 35,064 | 1,02696 | 9,6 | | | | |
| COM12-05 | 20 | 03/20/12 | 20:53:00 | -21,2486 | 51,6446 | 11,011 | 35,124 | 1,02691 | 9,0 | 55,47 | 6,94 | 1,05 | 48,53 |
| COM12-05 | 21 | 03/20/12 | 22:54:00 | -20,5217 | 51,6490 | 10,966 | 35,198 | 1,02697 | 9,1 | 63,62 | 10,71 | 1,50 | 52,91 |
| COM12-05 | 22 | 03/21/12 | 08:07:00 | -17,1744 | 51,6447 | 11,943 | 35,515 | 1,02705 | 8,4 | 66,25 | 6,75 | 0,99 | 59,51 |
| COM12-05 | 23 | 03/21/12 | 11:17:00 | -16,0843 | 51,6051 | 11,751 | 35,539 | 1,02710 | 9,3 | | | | |
| COM12-05 | 24 | 03/21/12 | 14:03:00 | -15,0845 | 51,5842 | 12,082 | 35,349 | 1,02689 | 7,7 | 71,53 | 5,35 | 0,80 | 66,18 |
| COM12-05 | 25 | 03/21/12 | 17:00:00 | -14,0290 | 51,5519 | 11,464 | 35,484 | 1,02711 | 9,0 | | | | |
| COM12-05 | 26 | 03/21/12 | 20:39:00 | -12,7149 | 51,4818 | 11,813 | 35,591 | 1,02713 | 8,4 | 73,89 | 9,01 | 1,13 | 64,88 |
| COM12-08 | 1 | 05/09/12 | 12:04:00 | -11,6360 | 51,2616 | 11,712 | 35,799 | 1,02731 | 7,4 | 73,14 | 13,52 | 1,86 | 59,63 |
| COM12-08 | 2 | 05/09/12 | 15:02:00 | -12,9139 | 51,2128 | 11,907 | 35,535 | 1,02707 | 7,5 | | | | |
| COM12-08 | 3 | 05/09/12 | 17:59:00 | -14,1653 | 51,1511 | 11,615 | 35,527 | 1,02712 | 7,7 | 78,64 | 10,31 | 1,58 | 68,33 |
| COM12-08 | 4 | 05/09/12 | 21:53:00 | -15,8675 | 51,0369 | 11,654 | 35,532 | 1,02711 | 7,4 | 78,21 | 9,81 | 1,54 | 68,40 |
| COM12-08 | 5 | 05/10/12 | 06:58:00 | -19,8337 | 50,6744 | 12,737 | 35,611 | 1,02697 | 6,1 | 85,30 | 12,83 | 1,81 | 72,47 |
| COM12-08 | 6 | 05/10/12 | 09:54:00 | -21,0800 | 50,5161 | 12,236 | 35,398 | 1,02690 | 4,6 | | | | |
| COM12-08 | 7 | 05/10/12 | 12:56:00 | -22,3427 | 50,3536 | 12,708 | 35,480 | 1,02687 | 5,6 | 74,96 | 15,45 | 2,39 | 59,51 |
| COM12-08 | 8 | 05/10/12 | 15:54:00 | -23,5747 | 50,1958 | 12,914 | 35,441 | 1,02681 | 5,3 | | | | |
| COM12-08 | 9 | 05/10/12 | 18:59:00 | -24,8567 | 49,9688 | 13,392 | 35,414 | 1,02669 | 4,3 | 77,74 | 18,28 | 2,90 | 59,46 |
| COM12-08 | 10 | 05/10/12 | 22:55:00 | -26,4639 | 49,6688 | 12,536 | 35,336 | 1,02680 | 5,8 | 81,84 | 26,38 | 4,22 | 55,46 |
| COM12-08 | 11 | 05/11/12 | 07:58:00 | -30,0718 | 48,9522 | 12,695 | 35,142 | 1,02661 | 2,9 | 94,16 | 31,71 | 5,27 | 62,44 |
| COM12-08 | 12 | 05/11/12 | 11:03:00 | -31,2595 | 48,6454 | 13,999 | 35,394 | 1,02655 | 0,8 | | | | |
| COM12-08 | 13 | 05/11/12 | 13:58:00 | -32,3602 | 48,3716 | 14,092 | 35,503 | 1,02662 | 1,5 | 97,41 | 36,69 | 4,89 | 60,72 |
| COM12-08 | 14 | 05/11/12 | 17:08:00 | -33,5612 | 48,0933 | 14,637 | 35,250 | 1,02631 | 0,6 | | | | |
| COM12-08 | 15 | 05/11/12 | 20:01:00 | -34,6275 | 47,8095 | 13,710 | 35,043 | 1,02634 | 2,5 | 48,10 | 18,13 | 2,46 | 29,97 |
| COM12-08 | 16 | 05/11/12 | 23:02:00 | -35,7317 | 47,4626 | 14,674 | 35,053 | 1,02615 | 2,3 | 35,55 | 14,58 | 1,90 | 20,97 |
| COM12-08 | 17 | 05/12/12 | 07:59:00 | -38,9420 | 46,4518 | 16,442 | 35,655 | 1,02624 | 0,8 | 73,60 | 19,99 | 3,03 | 53,60 |
| COM12-08 | 18 | 05/12/12 | 10:58:00 | -39,8873 | 46,1611 | 17,254 | 36,210 | 1,02648 | 1,6 | | | | |
| COM12-08 | 19 | 05/12/12 | 14:01:00 | -40,8724 | 45,8422 | 16,807 | 35,818 | 1,02628 | 0,5 | 68,44 | 10,73 | 1,40 | 57,70 |
| COM12-08 | 20 | 05/12/12 | 16:44:00 | -41,7783 | 45,5215 | 16,925 | 35,754 | 1,02620 | 0,3 | | | | |
| COM12-08 | 21 | 05/12/12 | 20:47:00 | -43,0750 | 45,0412 | 16,572 | 35,482 | 1,02607 | 0,0 | 83,64 | 30,14 | 3,78 | 53,50 |
| COM12-08 | 22 | 05/13/12 | 00:03:00 | -44,1649 | 44,6669 | 17,145 | 35,477 | 1,02594 | 0,0 | 74,76 | 24,58 | 2,55 | 50,17 |
| COM12-08 | 23 | 05/13/12 | 09:01:00 | -47,1263 | 43,6607 | 11,624 | 33,103 | 1,02522 | 0,0 | 69,67 | 10,35 | 1,30 | 59,31 |
| COM12-08 | 24 | 05/13/12 | 12:01:00 | -48,0958 | 43,3050 | 9,457 | 33,617 | 1,02599 | 0,0 | | | | |
| COM12-08 | 25 | 05/13/12 | 15:03:00 | -49,1577 | 43,2368 | 7,176 | 32,884 | 1,02574 | 0,0 | 77,27 | 10,80 | 1,35 | 66,47 |
| COM12-08 | 26 | 05/13/12 | 17:52:00 | -50,1708 | 43,3262 | 8,528 | 32,753 | 1,02545 | 0,0 | | | | |
| COM12-08 | 27 | 05/13/12 | 21:48:00 | -51,5443 | 43,4621 | 9,803 | 32,773 | 1,02527 | 0,0 | 81,12 | 8,07 | 0,99 | 73,05 |
| COM12-08 | 28 | 05/14/12 | 00:58:00 | -52,7065 | 43,5936 | 10,425 | 32,865 | 1,02524 | 0,0 | | 19,72 | 2,62 | |
| COM12-08 | 29 | 05/14/12 | 10:02:00 | -56,0292 | 43,9284 | 7,231 | 32,059 | 1,02509 | 0,2 | | | | |
| COM12-08 | 30 | 05/14/12 | 11:59:00 | -56,6945 | 44,0042 | 6,580 | 31,546 | 1,02476 | 0,1 | | | | |
| COM12-08 | 31 | 05/14/12 | 13:55:00 | -57,3191 | 44,0700 | 9,232 | 32,206 | 1,02492 | 0,0 | | | | |
| COM12-08 | 32 | 05/14/12 | 15:59:00 | -58,0071 | 44,1537 | 8,883 | 32,194 | 1,02496 | 0,0 | | | | |
| COM12-08 | 33 | 05/14/12 | 18:02:00 | -58,7376 | 44,2255 | 7,240 | 31,218 | 1,02442 | 0,2 | | | | |
| COM12-08 | 34 | 05/14/12 | 19:51:00 | -59,3588 | 44,2750 | 7,517 | 31,457 | 1,02457 | 0,0 | | | | |

Tabellenanhang

| Fahrt | Station | Datum | Zeit | Longitude [°E] | Latitude [°N] | SST [°C] | SSS [PSU] | Dichte [kg/L] | NO ₃ ⁻ [μmol/kg] | TOC [μmol/kg] | POC [μmol/kg] | PON [μmol/kg] | DOC [μmol/kg] |
|----------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| COM12-08 | 35 | 05/14/12 | 21:59:00 | -60,0556 | 44,3038 | 7,214 | 31,174 | 1,02439 | 0,0 | | | | |
| COM12-08 | 36 | 05/15/12 | 00:22:00 | -60,8625 | 44,3549 | 8,186 | 30,292 | 1,02357 | 0,0 | | | | |
| COM12-11 | 1 | 06/29/12 | 15:15:00 | -51,3456 | 45,8270 | 11,231 | 32,234 | 1,02462 | 0,1 | 100,35 | 8,36 | 0,93 | 91,99 |
| COM12-11 | 2 | 06/29/12 | 18:12:00 | -50,2831 | 46,3007 | 10,954 | 32,334 | 1,02474 | 0,0 | | | | 0,00 |
| COM12-11 | 3 | 06/29/12 | 21:00:00 | -49,3157 | 46,8126 | 10,721 | 32,466 | 1,02488 | 0,5 | 84,68 | 10,39 | 1,15 | 74,29 |
| COM12-11 | 4 | 06/29/12 | 23:43:00 | -48,2721 | 47,2599 | 10,012 | 32,298 | 1,02487 | 0,2 | 83,82 | 12,34 | 1,19 | 71,47 |
| COM12-11 | 5 | 06/30/12 | 07:58:00 | -45,1026 | 48,6184 | 12,46 | 33,643 | 1,02549 | 0,0 | 87,07 | 14,19 | 1,73 | 72,87 |
| COM12-11 | 6 | 06/30/12 | 11:00:00 | -43,9007 | 49,0852 | 13,07 | 33,327 | 1,02513 | 0,0 | | | | |
| COM12-11 | 7 | 06/30/12 | 14:30:00 | -42,4977 | 49,6233 | 15,135 | 35,264 | 1,02622 | 0,4 | 102,89 | 17,97 | 2,11 | 84,92 |
| COM12-11 | 8 | 06/30/12 | 16:59:00 | -41,4846 | 49,9545 | 15,007 | 34,594 | 1,02573 | 0,0 | | | | |
| COM12-11 | 9 | 06/30/12 | 19:57:00 | -40,2433 | 50,3887 | 13,674 | 33,962 | 1,02551 | 0,1 | 103,94 | 19,61 | 2,35 | 84,34 |
| COM12-11 | 10 | 06/30/12 | 23:07:00 | -38,8512 | 50,7988 | 13,596 | 34,041 | 1,02558 | 0,0 | 92,73 | 17,16 | 1,99 | 75,57 |
| COM12-11 | 11 | 07/01/12 | 08:02:00 | -34,9315 | 51,9536 | 13,027 | 34,414 | 1,02599 | 0,6 | 104,27 | 28,61 | 4,00 | 75,67 |
| COM12-11 | 12 | 07/01/12 | 11:01:00 | -33,5838 | 52,3075 | 13,045 | 34,411 | 1,02598 | 0,1 | | | | |
| COM12-11 | 13 | 07/01/12 | 14:07:00 | -32,1599 | 52,6547 | 13,159 | 34,398 | 1,02595 | 0,5 | 110,78 | 27,36 | 3,61 | 83,41 |
| COM12-11 | 14 | 07/01/12 | 17:02:00 | -30,7830 | 52,9687 | 13,768 | 34,500 | 1,02591 | 0,2 | | | | |
| COM12-11 | 15 | 07/01/12 | 20:06:00 | -29,3228 | 53,2575 | 14,013 | 34,443 | 1,02581 | 0,1 | | 23,11 | 2,64 | |
| COM12-11 | 16 | 07/01/12 | 23:04:00 | -27,8688 | 53,5103 | 13,936 | 34,476 | 1,02585 | 0,0 | 135,35 | 27,99 | 3,73 | 107,36 |
| COM12-11 | 17 | 07/02/12 | 07:09:00 | -23,9070 | 54,1989 | 14,097 | 34,600 | 1,02592 | 0,0 | 122,31 | 11,56 | 1,65 | 110,74 |
| COM12-11 | 18 | 07/02/12 | 10:03:00 | -22,4908 | 54,4232 | 14,014 | 34,774 | 1,02607 | 1,3 | | | | |
| COM12-11 | 19 | 07/02/12 | 13:00:00 | -21,1258 | 54,6122 | 13,852 | 34,956 | 1,02624 | 1,0 | 122,53 | 20,28 | 2,86 | 102,25 |
| COM12-11 | 20 | 07/02/12 | 16:10:00 | -19,6370 | 54,7938 | 14,239 | 34,968 | 1,02617 | 0,3 | | | | |
| COM12-11 | 21 | 07/02/12 | 19:04:00 | -18,2726 | 54,9188 | 13,986 | 35,059 | 1,02630 | 1,3 | 118,30 | 45,07 | 7,01 | 73,24 |
| COM12-11 | 22 | 07/02/12 | 22:04:00 | -16,8536 | 55,0422 | 13,977 | 35,038 | 1,02628 | 0,9 | 114,52 | 32,17 | 4,61 | 82,34 |
| COM12-11 | 23 | 07/03/12 | 06:07:00 | -12,9421 | 55,3349 | 13,444 | 35,067 | 1,02641 | 4,4 | 119,38 | 22,07 | 3,22 | 97,30 |
| COM12-11 | 24 | 07/03/12 | 09:09:00 | -11,5056 | 55,4010 | 13,347 | 35,152 | 1,02650 | 7,7 | | | | |
| COM12-11 | 25 | 07/03/12 | 12:05:00 | -10,1220 | 55,4601 | 13,597 | 35,106 | 1,02641 | 4,2 | 98,45 | 26,26 | 3,93 | 72,19 |
| COM12-14 | 1 | 08/22/12 | 15:30:00 | -38,8744 | 55,4187 | 12,890 | 34,586 | 1,02615 | 2,8 | 81,39 | 16,01 | 1,86 | 65,38 |
| COM12-14 | 2 | 08/22/12 | 17:16:00 | -39,7539 | 55,2882 | 12,650 | 34,571 | 1,02618 | 2,6 | | | | |
| COM12-14 | 3 | 08/22/12 | 20:33:00 | -41,3568 | 55,0525 | 12,590 | 34,523 | 1,02615 | 2,4 | 76,33 | 28,83 | 3,52 | 47,50 |
| COM12-14 | 4 | 08/23/12 | 08:58:00 | -47,2361 | 53,9566 | 13,930 | 34,086 | 1,02555 | 0,1 | 87,09 | 21,57 | 2,15 | 65,52 |
| COM12-14 | 5 | 08/23/12 | 12:05:00 | -48,6465 | 53,6390 | 14,220 | 34,002 | 1,02543 | 0,0 | | | | |
| COM12-14 | 6 | 08/23/12 | 14:22:00 | -49,6869 | 53,3921 | 14,580 | 34,112 | 1,02544 | 0,0 | 79,88 | 17,56 | 1,48 | 62,32 |
| COM12-14 | 7 | 08/23/12 | 17:16:00 | -50,9720 | 53,0509 | 13,170 | 33,359 | 1,02514 | 0,0 | | | | |
| COM12-17 | 1 | 10/11/12 | 08:59:00 | -53,4448 | 45,6815 | 14,691 | 32,056 | 1,02383 | 0,2 | 90,13 | 15,56 | 1,68 | 74,57 |
| COM12-17 | 2 | 10/11/12 | 11:55:00 | -52,303 | 45,8282 | 15,308 | 32,007 | 1,02366 | 0,3 | | | | |
| COM12-17 | 3 | 10/11/12 | 15:01:00 | -51,0976 | 45,9855 | 15,755 | 31,984 | 1,02355 | 0,7 | 93,85 | 17,93 | 2,09 | 75,93 |
| COM12-17 | 4 | 10/11/12 | 18:00:00 | -50,1233 | 46,0987 | 16,396 | 32,192 | 1,02357 | 0,0 | | | | |
| COM12-17 | 5 | 10/11/12 | 21:05:00 | -48,9016 | 46,2586 | 16,335 | 32,222 | 1,02361 | 0,1 | 91,19 | 21,32 | 1,42 | 69,87 |
| COM12-17 | 6 | 10/11/12 | 22:54:00 | -48,1817 | 46,3529 | 13,356 | 31,996 | 1,02405 | 0,1 | 87,23 | 13,01 | 1,38 | 74,22 |
| COM12-17 | 7 | 10/12/12 | 08:02:00 | -44,4468 | 46,8337 | 15,536 | 32,918 | 1,02432 | 4,7 | 81,22 | 12,45 | 1,31 | 68,78 |
| COM12-17 | 8 | 10/12/12 | 10:58:00 | -43,2285 | 47,0076 | 18,298 | 33,675 | 1,02428 | 0,2 | | | | |
| COM12-17 | 9 | 10/12/12 | 14:02:00 | -42,039 | 47,1352 | 17,629 | 33,059 | 1,02396 | 0,1 | 86,09 | 10,08 | 0,66 | 76,01 |
| COM12-17 | 10 | 10/12/12 | 17:01:00 | -40,9736 | 47,302 | 20,321 | 35,860 | 1,02547 | 0,2 | | | | |
| COM12-17 | 11 | 10/12/12 | 20:16:00 | -39,7616 | 47,4606 | 17,815 | 35,968 | 1,02616 | 0,5 | 65,89 | 21,09 | 2,80 | 44,81 |
| COM12-17 | 12 | 10/12/12 | 23:03:00 | -38,7011 | 47,5653 | 19,454 | 35,318 | 1,02527 | 0,1 | 84,27 | 13,43 | 1,02 | 70,84 |
| COM12-17 | 13 | 10/13/12 | 08:00:00 | -35,2616 | 48,0399 | 17,202 | 35,084 | 1,02562 | 0,1 | 87,10 | 10,94 | 0,79 | 76,16 |

Tabellenanhang

| Fahrt | Station | Datum | Zeit | Longitude [°E] | Latitude [°N] | SST [°C] | SSS [PSU] | Dichte [kg/L] | NO ₃ ⁻ [μmol/kg] | TOC [μmol/kg] | POC [μmol/kg] | PON [μmol/kg] | DOC [μmol/kg] |
|----------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| COM12-17 | 14 | 10/13/12 | 10:59:00 | -34,1658 | 48,2009 | 17,335 | 35,120 | 1,02562 | 0,1 | | | | |
| COM12-17 | 15 | 10/13/12 | 14:14:00 | -32,8878 | 48,3606 | 17,363 | 35,284 | 1,02574 | 0,5 | | | | |
| COM12-17 | 16 | 10/13/12 | 16:55:00 | -31,8067 | 48,5008 | 17,149 | 35,299 | 1,02580 | 0,2 | | | | |
| COM12-17 | 17 | 10/13/12 | 20:05:00 | -30,552 | 48,651 | 16,27 | 35,201 | 1,02592 | 0,8 | 65,89 | 11,39 | 1,24 | 54,50 |
| COM12-17 | 18 | 10/14/12 | 21:57:00 | -29,834 | 48,7532 | 16,502 | 35,245 | 1,02591 | 0,2 | 66,08 | 11,22 | 1,21 | 54,86 |
| COM12-17 | 19 | 10/14/12 | 07:00:00 | -26,1744 | 49,2179 | 15,827 | 35,461 | 1,02622 | 1,6 | 74,94 | 7,98 | 0,73 | 66,95 |
| COM12-17 | 20 | 10/14/12 | 09:58:00 | -24,9684 | 49,3748 | 14,956 | 35,100 | 1,02613 | 1,3 | | | | |
| COM12-17 | 21 | 10/14/12 | 13:05:00 | -23,6764 | 49,5409 | 15,409 | 35,284 | 1,02618 | 1,3 | 72,20 | 14,02 | 1,52 | 58,17 |
| COM12-17 | 22 | 10/14/12 | 15:58:00 | -22,4879 | 49,6926 | 15,435 | 35,228 | 1,02613 | 1,2 | | | | |
| COM12-17 | 23 | 10/14/12 | 19:01:00 | -21,1988 | 49,8463 | 15,476 | 35,364 | 1,02622 | 1,4 | 74,84 | 12,52 | 1,29 | 62,32 |
| COM12-17 | 24 | 10/14/12 | 21:11:00 | -20,2743 | 49,9656 | 15,162 | 35,422 | 1,02633 | 1,6 | 70,35 | 11,70 | 1,18 | 58,65 |
| COM12-17 | 25 | 10/15/12 | 06:01:00 | -16,5446 | 50,4091 | 14,705 | 35,425 | 1,02643 | 2,1 | 69,66 | 13,79 | 1,17 | 55,87 |
| COM12-17 | 27 | 10/15/12 | 12:06:00 | -13,9986 | 50,7351 | 14,133 | 35,361 | 1,02650 | 3,6 | 66,83 | 16,42 | 1,50 | 50,41 |
| COM12-17 | 29 | 10/15/12 | 18:50:00 | -11,3688 | 51,048 | 14,354 | 35,429 | 1,02651 | 2,9 | 51,47 | 11,15 | 0,98 | 40,32 |
| COM12-17 | 30 | 10/15/12 | 21:46:00 | -10,2754 | 51,1692 | 13,353 | 34,941 | 1,02633 | 7,5 | 78,97 | 16,97 | 1,73 | 62,00 |

Tabelle IV: TOC Messergebnisse incl. Standardabweichung und Regressionsgerade des entsprechenden Messtages sortiert nach den M/V Atlantic Companion Fahrten

| COM 11-17 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 1 | 64,34 | 1,69 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 1d | 57,80 | 1,08 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 3 | 73,62 | 1,73 | $y = 0,0563x + 0,3381$ | _08_09 |
| 4 | 80,78 | 1,92 | $y = 0,0563x + 0,3381$ | _08_09 |
| 5 | 88,73 | 0,65 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 7 | 84,37 | 0,21 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 9 | 82,26 | 0,89 | $y = 0,051x - 0,1777$ | _08_21 |
| 9d | 82,94 | 1,81 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 10 | 93,84 | 0,82 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 11 | 78,23 | 1,33 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 13 | 85,69 | 1,90 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 15 | 71,78 | 0,53 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 16 | 77,89 | 1,65 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 17 | 102,98 | 0,79 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 19 | 87,75 | 0,78 | $y = 0,051x - 0,1777$ | _08_21 |
| 19d | 88,35 | 0,61 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 21 | 107,03 | 2,12 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 23a | 114,24 | 0,42 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 23b | 99,05 | 2,25 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 23c | 109,63 | 0,17 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 23d | 81,12 | 1,91 | $y = 0,051x - 0,1777$ | _08_21 |
| 23e | 114,57 | 1,00 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |

| COM 11-20 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 6 | 69,7 | 0,39 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 6d | 74,8 | 1,78 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 8 | 80,5 | 0,37 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 8d | 79,0 | 0,43 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 9 | 67,9 | 0,62 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 10 | 68,0 | 1,48 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 10d | 75,8 | 0,69 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 12 | 90,5 | 1,36 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 12d | 87,7 | 1,23 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 14d | 68,0 | 0,83 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 15 | 76,4 | 0,75 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 16 | 81,7 | 1,64 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 16d | 80,5 | 0,79 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 18 | 81,8 | 0,81 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 18d | 75,6 | 1,68 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 20 | 82,1 | 1,19 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 21 | 80,9 | 0,95 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 23 | 64,5 | 0,61 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 23d | 70,5 | 0,20 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 25 | 79,5 | 1,28 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 25d | 158,4 | 3,04 | $y = 0,0554x + 0,1045$ | _08_22 |
| 26 | 65,4 | 1,26 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |
| 27 | 73,4 | 0,91 | $y = 0,052x + 1,0945$ | _08_20 |

| COM 12-03 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 4 | 75,12 | 0,41 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 6 | 68,52 | 0,94 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 6d | 72,12 | 0,37 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 8 | 68,81 | 0,77 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 9 | 67,71 | 0,27 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 10 | 82,56 | 0,04 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 12 | 72,20 | 0,41 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 12d | 59,02 | 1,07 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 14 | 71,22 | 0,16 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 15 | 65,34 | 0,79 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 16 | 58,37 | 0,82 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 18 | 62,38 | 1,37 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 18d | 61,82 | 0,60 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 20 | 66,50 | 2,35 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 21 | 60,47 | 1,25 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 22 | 63,03 | 1,31 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 24 | 65,81 | 0,52 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 24d | 62,23 | 0,70 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 26 | 68,64 | 0,82 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 27 | 71,49 | 1,47 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 28 | 65,58 | 0,63 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |

| COM 12-03 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 30 | 61,42 | 0,49 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 32 | 74,13 | 0,61 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |
| 32d | 68,66 | 1,26 | $y = 0,0481x + 0,0945$ | _09_26 |

| COM 12-05 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 1 | 77,33 | 1,27 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 2 | 74,70 | 0,57 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 3 | 59,15 | 0,69 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 3d | 76,45 | 0,83 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 4 | 86,82 | 0,66 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 6 | 80,65 | 0,88 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 6d | 78,42 | 1,47 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 8 | 70,18 | 0,47 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 10 | 73,61 | 1,04 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 12 | 68,63 | 1,30 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 14 | 64,99 | 1,26 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 14d | 73,48 | 1,97 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 15 | 67,23 | 1,32 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 16 | 76,76 | 0,96 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 18 | 70,89 | 0,66 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 18d | 62,72 | 0,36 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 20 | 58,67 | 0,98 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 20d | 55,27 | 0,89 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 21 | 63,39 | 0,32 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 21d | 67,29 | 1,33 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 22 | 68,05 | 0,57 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 22d | 68,99 | 0,12 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | 09_25 |
| 24 | 73,45 | 2,28 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |
| 26 | 75,89 | 1,51 | $y = 0,0515x + 0,3558$ | _08_31 |

| COM 12-08 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 1 | 75,1 | 0,61 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 3 | 78,6 | 0,64 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 3d | 82,9 | 0,56 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 4 | 80,3 | 1,76 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 4d | 85,3 | 1,24 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 5 | 87,6 | 1,17 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 7 | 75,7 | 0,73 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 7d | 78,2 | 1,87 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 9 | 79,8 | 0,78 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 10 | 84,2 | 1,62 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 10d | 83,9 | 0,90 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 11 | 96,7 | 1,68 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |

| COM 12-08 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 11d | 96,7 | 1,94 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 13 | 97,7 | 1,82 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 13d | 102,2 | 1,83 | $y = 0,0524x + 0,5173$ | _08_28 |
| 17 | 75,5 | 1,26 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 19 | 70,2 | 0,76 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 21 | 85,8 | 0,95 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 22 | 76,7 | 1,21 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 23 | 71,4 | 1,14 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 25 | 79,3 | 1,38 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |
| 27 | 83,2 | 1,41 | $y = 0,0514x - 0,1283$ | _09_25 |

| COM 12-11 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|------------------------|---------------------|
| 1 | 102,8 | 0,44 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 1d | 113,9 | 0,42 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 3 | 86,8 | 0,82 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 4 | 85,9 | 2,11 | $y = 0,0563x + 0,3381$ | _08_09 |
| 4d | 85,9 | 0,87 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 5 | 89,3 | 4,22 | $y = 0,0563x + 0,3381$ | _08_09 |
| 7 | 105,7 | 0,93 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 7d | 106,7 | 1,29 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 9 | 124,3 | 0,74 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 10 | 95,1 | 1,22 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 11 | 107,0 | 0,92 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 13 | 113,2 | 0,60 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 13d | 114,3 | 1,99 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 16 | 138,0 | 1,64 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 16d | 139,9 | 2,24 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 17 | 125,5 | 1,64 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 19 | 136,9 | 0,35 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 19d | 125,7 | 3,46 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 21 | 121,4 | 0,68 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 22 | 117,5 | 1,53 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 23 | 122,5 | 1,34 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 25 | 97,9 | 1,28 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |
| 25d | 104,3 | 0,76 | $y = 0,0564x + 0,1971$ | _08_30 |

| COM 12-14 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|------|-----------------------|---------------------|
| 01 | 70,1 | 0,30 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 01d | 83,5 | 0,63 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 03 | 78,3 | 0,25 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 03d | 77,4 | 0,30 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 04 | 85,4 | 1,82 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 04d | 89,3 | 1,01 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 06 | 73,6 | 0,42 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 06d | 81,9 | 1,64 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |

| COM 12-17 # | TOC [μmol/L] | SD | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|-----------------|-------|------------------------|---------------------|
| 1 | 92,3 | 0,88 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 3 | 96,1 | 0,58 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 5 | 93,2 | 1,10 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 5d | 93,3 | 0,79 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 6 | 89,3 | 1,93 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 7 | 80,5 | 1,81 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 7d | 85,8 | 2,17 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 9 | 88,1 | 1,48 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 11 | 67,6 | 2,06 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 12 | 87,1 | 0,75 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 12d | 85,6 | 2,47 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 13 | 89,3 | 0,18 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 15 | 1916,6 | 5,90 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 15d | 2517,5 | 39,83 | $y = 0,0441x - 0,2183$ | _10_30 |
| 17 | 64,2 | 1,19 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 17d | 71,0 | 1,58 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 18 | 67,8 | 2,01 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 19 | 59,5 | 0,66 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 19d | 76,9 | 0,48 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 21 | 74,1 | 1,82 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 23 | 77,2 | 0,93 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 23d | 76,5 | 1,19 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 24 | 73,0 | 1,79 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 24d | 71,5 | 0,49 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 25 | 71,7 | 0,98 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 25d | 71,3 | 1,64 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 27 | 69,0 | 1,42 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 27d | 68,2 | 0,79 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 29 | 52,8 | 0,48 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |
| 30 | 81,1 | 0,20 | $y = 0,0547x - 0,103$ | _10_29 |

Tabelle V: POC / PON- Daten der M/V Atlantic Companion Fahrten

| COM 11-17 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 1 | 1 | 17,4 | 4250 | 87422 | 136 | 17,43 | 1,25 | 136,42 | 11,4 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 3 | 1 | 21,0 | 5049 | 102094 | 159 | 21,02 | 1,50 | 159,23 | 13,3 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 4 | 0,5 | 8,74 | 2317 | 51957 | 81,3 | 17,49 | 1,25 | 162,55 | 13,5 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 5 | 1 | 27,0 | 5887 | 111169 | 171 | 26,97 | 1,93 | 185,13 | 15,4 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 7 | 1 | 18,7 | 4536 | 94647 | 148 | 18,72 | 1,34 | 147,65 | 12,3 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 9 | 1 | 26,6 | 6283 | 125836 | 196 | 26,57 | 1,90 | 196,14 | 16,3 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 10 | 0,5 | 22,6 | 4936 | 99102 | 152 | 45,29 | 3,23 | 325,88 | 27,1 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 11 | 0,5 | 14,0 | 3030 | 64538 | 97,1 | 27,94 | 2,00 | 198,76 | 16,5 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 13 | 0,8 | 21,1 | 4603 | 92379 | 141 | 26,41 | 1,89 | 188,22 | 15,7 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 15 | 0,8 | 42,3 | 9250 | 185252 | 288 | 52,84 | 3,77 | 401,71 | 33,4 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 16 | 0,5 | 17,4 | 3789 | 82074 | 125 | 34,85 | 2,49 | 263,26 | 21,9 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 17 | 0,5 | 16,7 | 4081 | 93567 | 146 | 33,34 | 2,38 | 291,94 | 24,3 | $y = 223x + 200,63$ | $y = 642,5x - 204,97$ | 20.06.2012 |
| 19 | 0,8 | 16,6 | 3609 | 86998 | 133 | 20,76 | 1,48 | 175,85 | 14,6 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 21 | 0,8 | 21,4 | 4657 | 97326 | 149 | 26,72 | 1,91 | 199,60 | 16,6 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |

| COM 11-20 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|--------------------|-----------------------|------------------|
| 4 | 1 | 13,5 | 2921 | 63788 | 95,9 | 13,5 | 0,963 | 95,9 | 7,99 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 6 | 1 | 13,2 | 2862 | 59013 | 88,3 | 13,2 | 0,943 | 88,3 | 7,36 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 8 | 1 | 16,5 | 3596 | 64584 | 97,2 | 16,5 | 1,182 | 97,2 | 8,09 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 9 | 1,5 | 22,6 | 4922 | 82788 | 126 | 15,1 | 1,075 | 84,0 | 7,00 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 10 | 1 | 7,39 | 1584 | 34714 | 49,8 | 7,39 | 0,528 | 49,8 | 4,15 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 12 | 1 | 16,1 | 3496 | 64455 | 97,0 | 10,7 | 0,766 | 64,6 | 5,38 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 14 | 1 | 8,63 | 1857 | 37386 | 54,1 | 8,63 | 0,617 | 54,1 | 4,50 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 15 | 1 | 15,4 | 3335 | 65218 | 98,2 | 15,4 | 1,097 | 98,2 | 8,17 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 16 | 1 | 7,85 | 1685 | 36637 | 52,9 | 7,85 | 0,561 | 52,9 | 4,40 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 18 | 1 | 9,47 | 2041 | 38850 | 56,4 | 9,47 | 0,676 | 56,4 | 4,69 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 20 | 1 | 7,45 | 1598 | 36684 | 53,0 | 7,45 | 0,532 | 53,0 | 4,41 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 21 | 1 | 6,46 | 1379 | 29574 | 41,7 | 6,46 | 0,461 | 41,7 | 3,47 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 23 | 1 | 8,15 | 1752 | 38888 | 56,4 | 8,15 | 0,582 | 56,4 | 4,70 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 25 | 1 | 8,72 | 1876 | 41814 | 61,1 | 8,72 | 0,623 | 61,1 | 5,09 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 26 | 1 | 13,0 | 2814 | 56673 | 84,6 | 13,0 | 0,928 | 84,6 | 7,05 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |

| COM 12-03 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|----------------------|------------------------|------------------|
| 4 | 1,0 | 13,5 | 2937 | 65322 | 98,3 | 13,5 | 0,968 | 98,3 | 8,19 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 6 | 1,0 | 12,5 | 2711 | 59059 | 88,4 | 12,5 | 0,894 | 88,4 | 7,36 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 8 | 1,0 | 7,70 | 1652 | 37233 | 53,8 | 7,70 | 0,550 | 53,8 | 4,48 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 9 | 1,0 | 13,6 | 3026 | 59066 | 93,0 | 13,6 | 0,969 | 93,0 | 7,74 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 10 | 1,0 | 9,75 | 2103 | 43440 | 63,7 | 9,75 | 0,697 | 63,7 | 5,30 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 12 | 1,5 | 17,1 | 3715 | 74533 | 113 | 11,4 | 0,814 | 75,3 | 6,27 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 14 | 1,0 | 9,81 | 2115 | 43402 | 63,6 | 9,81 | 0,701 | 63,6 | 5,30 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 15 | 1,0 | 6,38 | 1362 | 31536 | 44,8 | 6,38 | 0,456 | 44,8 | 3,73 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 16 | 1,0 | 6,12 | 1403 | 30084 | 48,2 | 6,12 | 0,437 | 48,2 | 4,01 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |

Tabellenanhang

| COM 12-03 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/ L | µg C /L | C µmol/ L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|-----------|---------|-----------|----------------------|------------------------|------------------|
| 18 | 1,0 | 7,62 | 1731 | 37714 | 60,0 | 7,62 | 0,545 | 60,0 | 4,99 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 20 | 1,0 | 5,57 | 1184 | 31198 | 44,3 | 5,57 | 0,398 | 44,3 | 3,68 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 21 | 1,0 | 7,24 | 1648 | 34115 | 54,4 | 7,24 | 0,517 | 54,4 | 4,53 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 22 | 1,0 | 7,83 | 1776 | 40763 | 64,7 | 7,83 | 0,559 | 64,7 | 5,38 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 24 | 1,0 | 6,79 | 1548 | 33255 | 53,1 | 6,79 | 0,485 | 53,1 | 4,42 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 26 | 1,0 | 7,32 | 1665 | 32306 | 51,6 | 7,32 | 0,523 | 51,6 | 4,30 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 27 | 1,0 | 7,29 | 1658 | 34133 | 54,4 | 7,29 | 0,521 | 54,4 | 4,53 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 28 | 1,0 | 6,83 | 1558 | 30604 | 49,0 | 6,83 | 0,488 | 49,0 | 4,08 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 30 | 1,0 | 6,52 | 1490 | 30077 | 48,1 | 6,52 | 0,466 | 48,1 | 4,01 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 32 | 1,0 | 7,28 | 1656 | 37171 | 59,1 | 7,28 | 0,520 | 59,1 | 4,55 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |

| COM 12-05 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|----------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 1,0 | 13,8 | 2991 | 59897 | 89,7 | 13,8 | 0,985 | 89,7 | 7,47 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 2 | 1,0 | 21,2 | 4612 | 85657 | 131 | 21,2 | 1,51 | 131 | 10,9 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 3 | 1,5 | 24,7 | 5397 | 90217 | 138 | 16,5 | 1,18 | 91,9 | 7,65 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 4 | 1,0 | 15,0 | 3255 | 57082 | 85,3 | 15,0 | 1,07 | 85,3 | 7,10 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 6 | 1,5 | 28,1 | 6141 | 109831 | 169 | 18,8 | 1,34 | 113 | 9,37 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 8 | 1,0 | 10,6 | 2294 | 51118 | 75,8 | 10,6 | 0,759 | 75,8 | 6,31 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 9 | 1,0 | 17,6 | 3821 | 68853 | 104 | 17,6 | 1,26 | 104 | 8,65 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 10 | 1,0 | 14,7 | 3274 | 56199 | 88,6 | 14,7 | 1,05 | 88,6 | 7,37 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 12 | 1,5 | 28,1 | 6201 | 96396 | 151 | 18,8 | 1,34 | 100 | 8,37 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 14 | 1,5 | 19,2 | 4182 | 80545 | 122 | 12,8 | 0,915 | 81,6 | 6,80 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 15 | 1,0 | 20,0 | 4436 | 78013 | 122 | 20,0 | 1,43 | 122 | 10,2 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 16 | 1,0 | 16,8 | 3725 | 64455 | 101 | 16,8 | 1,20 | 101 | 8,44 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 18 | 1,5 | 22,0 | 4872 | 88960 | 139 | 14,7 | 1,05 | 92,8 | 7,73 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 20 | 1,5 | 22,7 | 4942 | 84336 | 128 | 15,1 | 1,08 | 85,7 | 7,13 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 21 | 1,0 | 21,5 | 4760 | 84383 | 132 | 21,5 | 1,54 | 132 | 11,0 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 22 | 1,0 | 14,2 | 3086 | 55774 | 83,2 | 14,2 | 1,02 | 83,2 | 6,93 | $y = 220x - 59,99$ | $y = 629,4x + 3673,7$ | 21.06.2012 |
| 24 | 1,5 | 17,2 | 3815 | 62950 | 99,0 | 11,5 | 0,819 | 66,0 | 5,49 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |
| 26 | 1,0 | 16,2 | 3607 | 70795 | 111 | 16,2 | 1,16 | 111 | 9,25 | $y = 217,8x + 70,50$ | $y = 646,39x - 1032,3$ | 22.06.2012 |

| COM 12-08 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|---------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|------------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 1,0 | 26,730 | 5071,6 | 98084 | 166,815 | 26,730 | 1,909 | 166,8 | 13,9 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 3 | 1,0 | 22,708 | 4312,8 | 74789 | 127,214 | 22,708 | 1,622 | 127,2 | 10,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 4 | 1,0 | 22,152 | 4207,9 | 71176 | 121,072 | 22,152 | 1,582 | 121,1 | 10,1 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 5 | 1,0 | 26,004 | 4934,6 | 93056 | 158,268 | 26,004 | 1,857 | 158,3 | 13,2 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 7 | 1,0 | 34,428 | 6524,1 | 112055 | 190,566 | 34,428 | 2,459 | 190,6 | 15,9 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 9 | 1,0 | 41,697 | 7895,5 | 132564 | 225,431 | 41,697 | 2,978 | 225,4 | 18,8 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 10 | 1,0 | 60,716 | 11484,0 | 191301 | 325,284 | 60,716 | 4,337 | 325,3 | 27,1 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 11 | 1,0 | 75,789 | 14328,0 | 229990 | 391,055 | 75,789 | 5,413 | 391,1 | 32,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 13 | 0,5 | 35,146 | 6659,6 | 133019 | 226,205 | 70,293 | 5,021 | 452,4 | 37,7 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 15 | 0,5 | 17,654 | 3359,1 | 65679 | 111,727 | 35,307 | 2,522 | 223,5 | 18,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 16 | 1,0 | 27,255 | 5170,7 | 105688 | 179,742 | 27,255 | 1,947 | 179,7 | 15,0 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 17 | 0,5 | 21,738 | 4129,8 | 72445 | 123,229 | 43,477 | 3,105 | 246,5 | 20,5 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |

Tabellenanhang

| COM 12-08 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/ Ein-waage | Area N | Area C | µg C/ Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---------|----------|---------|----------|------------------------|------------------------|------------------|
| 19 | 0,5 | 10,073 | 1928,8 | 38872 | 66,155 | 20,146 | 1,439 | 132,3 | 11,0 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 21 | 0,5 | 27,122 | 5145,5 | 109191 | 185,697 | 54,243 | 3,875 | 371,4 | 30,9 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 22 | 0,5 | 18,338 | 3488,2 | 89051 | 151,459 | 36,676 | 2,620 | 302,9 | 25,2 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 23 | 0,5 | 9,347 | 1791,8 | 37458 | 63,751 | 18,694 | 1,335 | 127,5 | 10,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 25 | 1,0 | 19,407 | 3690,0 | 78230 | 133,063 | 19,407 | 1,386 | 133,1 | 11,1 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 27 | 0,5 | 14,245 | 2715,9 | 58416 | 99,380 | 14,245 | 1,017 | 99,4 | 8,3 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 28 | 0,5 | 18,802 | 3575,7 | 71394 | 121,442 | 37,603 | 2,686 | 242,9 | 20,2 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |

| COM 12-11 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/Ein-waage | Area N | Area C | µg C/Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|----------------|--------|--------|----------------|---------|----------|---------|----------|------------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 19,918 | 3786 | 90709 | 154,3 | 13,3 | 0,9 | 102,9 | 8,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 3 | 1,0 | 16,477 | 3137 | 75214 | 127,9 | 16,5 | 1,2 | 127,9 | 10,7 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 4 | 0,5 | 8,540 | 1640 | 44637 | 76,0 | 17,1 | 1,2 | 151,9 | 12,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 5 | 1,0 | 24,852 | 4717 | 102804 | 174,8 | 24,9 | 1,8 | 174,8 | 14,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 7 | 0,5 | 15,153 | 2887 | 65121 | 110,8 | 30,3 | 2,2 | 221,6 | 18,4 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 9 | 0,5 | 16,852 | 3208 | 70991 | 120,8 | 33,7 | 2,4 | 241,5 | 20,1 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 10 | 0,5 | 14,294 | 2725 | 62135 | 105,7 | 28,6 | 2,0 | 211,4 | 17,6 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 11 | 0,5 | 28,709 | 5445 | 103639 | 176,3 | 57,4 | 4,1 | 352,5 | 29,3 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 13 | 0,5 | 25,898 | 4915 | 99136 | 168,6 | 51,8 | 3,7 | 337,2 | 28,1 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 15 | 0,5 | 18,968 | 3607 | 83709 | 142,4 | 37,9 | 2,7 | 284,8 | 23,7 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 16 | 0,5 | 26,754 | 5076 | 101404 | 172,5 | 53,5 | 3,8 | 344,9 | 28,7 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 17 | | 23,745 | 4508 | 83769 | 142,5 | 23,7 | 1,7 | 142,5 | 11,9 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 19 | 1,0 | 41,062 | 7776 | 147018 | 250,0 | 41,1 | 2,9 | 250,0 | 20,8 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 21 | 0,5 | 50,382 | 9534 | 163343 | 277,8 | 100,8 | 7,2 | 555,5 | 46,3 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 22 | 0,5 | 33,103 | 6274 | 116605 | 198,3 | 66,2 | 4,7 | 396,6 | 33,0 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 23 | 0,5 | 23,153 | 4397 | 79994 | 136,1 | 46,3 | 3,3 | 272,1 | 22,7 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |
| 25 | 0,5 | 28,239 | 5356 | 95189 | 161,9 | 56,5 | 4,0 | 323,8 | 27,0 | $y = 0,0053x - 0,1496$ | $y = 0,0017x + 0,0724$ | 08.10.2012 |

| COM 12-14 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/Ein-waage | Area N | Area C | µg C/Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|----------------|--------|--------|----------------|---------|----------|---------|----------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| 1 | 1 | 26,747 | 5738 | 120529 | 197,3 | 26,75 | 1,91 | 197,3 | 16,43 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 3 | 0,5 | 25,268 | 5438 | 108490 | 177,7 | 50,54 | 3,61 | 355,4 | 29,59 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 4 | 0,5 | 15,441 | 3441 | 81029 | 132,9 | 30,88 | 2,21 | 265,7 | 22,13 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 6 | 0,5 | 10,588 | 2455 | 65865 | 108,1 | 21,18 | 1,51 | 216,3 | 18,00 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |

| COM 12-17 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/Ein-waage | Area N | Area C | µg C/Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|----------------|--------|--------|----------------|---------|----------|---------|----------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| 1 | 1 | 24,031 | 5186 | 116821 | 191,3 | 24,0 | 1,7 | 191,3 | 15,9 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 3 | 1 | 30,017 | 6402 | 134643 | 220,4 | 30,0 | 2,1 | 220,4 | 18,3 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 5 | 0,5 | 10,208 | 2378 | 79901 | 131,0 | 20,4 | 1,5 | 262,1 | 21,8 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 6 | 1 | 19,718 | 4310 | 97664 | 160,0 | 19,7 | 1,4 | 160,0 | 13,3 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 7 | 1 | 18,822 | 4128 | 93439 | 153,1 | 18,8 | 1,3 | 153,1 | 12,7 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 9 | 0,5 | 4,737 | 1266 | 37588 | 62,0 | 9,5 | 0,7 | 124,0 | 10,3 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 11 | 0,9 | 36,251 | 7669 | 142958 | 233,9 | 40,3 | 2,9 | 259,9 | 21,6 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 12 | 0,5 | 7,304 | 1788 | 50283 | 82,7 | 14,6 | 1,0 | 165,4 | 13,8 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 13 | 0,5 | 5,648 | 1451 | 40890 | 67,4 | 11,3 | 0,8 | 134,7 | 11,2 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |

Tabellenanhang

| COM 12-17 # | Filtrierte Menge POC [L] | µg N/Ein-waage | Area N | Area C | µg C/Ein-waage | µg N /L | N µmol/L | µg C /L | C µmol/L | Kalibriergrade N | Kalibriergrade C | gemessen (Datum) |
|-------------|--------------------------|----------------|--------|--------|----------------|---------|----------|---------|----------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| 15 | 0,5 | 6,141 | 1552 | 46870 | 77,1 | 12,3 | 0,9 | 154,3 | 12,8 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 17 | 1 | 17,758 | 3912 | 85610 | 140,3 | 17,8 | 1,3 | 140,3 | 11,7 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 18 | 1 | 17,328 | 3825 | 84334 | 138,3 | 17,3 | 1,2 | 138,3 | 11,5 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 19 | 1 | 10,548 | 2447 | 59918 | 98,4 | 10,5 | 0,8 | 98,4 | 8,2 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 21 | 1 | 21,883 | 4750 | 105514 | 172,8 | 21,9 | 1,6 | 172,8 | 14,4 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 23 | 1 | 18,488 | 4060 | 94175 | 154,3 | 18,5 | 1,3 | 154,3 | 12,8 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 24 | 1 | 16,913 | 3740 | 87965 | 144,2 | 16,9 | 1,2 | 144,2 | 12,0 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 25 | 0,5 | 8,421 | 2015 | 51681 | 85,0 | 16,8 | 1,2 | 170,0 | 14,1 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 27 | 0,5 | 10,790 | 2496 | 61646 | 101,2 | 21,6 | 1,5 | 202,5 | 16,9 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 29 | 0,5 | 7,037 | 1734 | 41723 | 68,7 | 14,1 | 1,0 | 137,5 | 11,4 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |
| 30 | 0,5 | 12,425 | 2828 | 63719 | 104,6 | 24,9 | 1,8 | 209,2 | 17,4 | $y = 0,004922x - 1,495736$ | $y = 0,001632x + 0,634047$ | 20.11.2012 |

Tabelle VI: Nährstoffdaten der M/V Atlantic Companion Fahrten

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| COM 11-17 | | | | | |
| 1 | 19.12.2012 | 2,583 | 0,153 | 0,212 | 0,560 |
| 2 | 19.12.2012 | 3,080 | 0,171 | 0,170 | 0,639 |
| 2d | 19.12.2012 | 3,086 | 0,172 | 0,190 | 0,633 |
| 3 | 19.12.2012 | 3,301 | 0,167 | 0,180 | 0,605 |
| 4 | 19.12.2012 | 2,825 | 0,180 | 0,191 | 0,491 |
| 5 | 19.01.2012 | 2,376 | 0,158 | 0,176 | 0,461 |
| 6 | 19.01.2012 | 3,463 | 0,216 | 0,222 | 0,748 |
| 6d | 19.01.2012 | 3,420 | 0,216 | 0,194 | 0,731 |
| 7 | 19.01.2012 | 1,917 | 0,136 | 0,126 | 0,329 |
| 8 | 19.01.2012 | 2,408 | 0,184 | 0,127 | 0,341 |
| 9 | 19.01.2012 | 2,165 | 0,166 | 0,128 | 0,471 |
| 9d | 19.01.2012 | 2,175 | 0,196 | 0,118 | 0,453 |
| 10 | 19.01.2012 | 1,086 | 0,146 | 0,048 | 0,389 |
| 11 | 19.01.2012 | 1,461 | 0,148 | 0,076 | 0,641 |
| 12 | 19.01.2012 | 2,897 | 0,268 | 0,096 | 1,197 |
| 12d | 19.01.2012 | 2,913 | 0,270 | 0,103 | 1,215 |
| 13 | 19.01.2012 | 1,532 | 0,221 | 0,072 | 0,000 |
| 14 | 19.01.2012 | 0,597 | 0,179 | 0,015 | 1,020 |
| 15 | 19.01.2012 | 0,422 | 0,151 | 0,015 | 0,580 |
| 15d | 19.01.2012 | 0,433 | 0,152 | 0,011 | 0,700 |
| 16 | 19.01.2012 | 1,000 | 0,184 | 0,033 | 0,965 |
| 16d | 19.01.2012 | 1,013 | 0,185 | 0,025 | 0,980 |
| 17 | 19.01.2012 | 0,163 | 0,105 | 0,000 | 0,755 |
| 18 | 19.01.2012 | 1,177 | 0,129 | 0,000 | 0,909 |
| 19 | 19.01.2012 | 0,000 | 0,057 | 0,000 | 0,384 |
| 20 | 19.01.2012 | 0,000 | 0,107 | 0,000 | 0,638 |
| 20d | 19.01.2012 | 0,000 | 0,107 | 0,000 | 0,614 |
| 21 | 19.01.2012 | 0,000 | 0,120 | 0,000 | 0,703 |
| 22 | 19.01.2012 | 0,000 | 0,120 | 0,000 | 0,753 |
| 22d | 19.01.2012 | 0,000 | 0,117 | 0,000 | 0,643 |
| 23a | 19.01.2012 | 0,000 | 0,234 | 0,000 | 1,532 |
| 23b | 19.01.2012 | 0,000 | 0,241 | 0,000 | 1,523 |
| 23c | 19.01.2012 | 0,000 | 0,250 | 0,000 | 1,530 |
| 23d | 19.01.2012 | 0,000 | 0,232 | 0,000 | 1,550 |
| 23e | 19.01.2012 | 0,000 | 0,246 | 0,000 | 1,539 |

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| COM 11-20 | | | | | |
| 1 | 19.01.2012 | 1,212 | 0,458 | 0,075 | 2,117 |
| 1d | 19.01.2012 | 1,271 | 0,479 | 0,086 | 2,040 |
| 2 | 19.01.2012 | 2,849 | 0,683 | 0,166 | 3,692 |
| 2d | 19.01.2012 | 2,916 | 0,735 | 0,193 | 3,798 |
| 3 | 19.01.2012 | 1,018 | 0,478 | 0,086 | 1,773 |
| 3d | 19.01.2012 | 1,082 | 0,496 | 0,092 | 1,933 |
| 4 | 19.01.2012 | 2,716 | 0,592 | 0,131 | 3,999 |
| 4d | 19.01.2012 | 2,737 | 0,606 | 0,138 | 4,057 |
| 5 | 19.01.2012 | 4,332 | 0,723 | 0,153 | 4,924 |
| 5d | 19.01.2012 | 4,451 | 0,741 | 0,175 | 5,113 |
| 6 | 19.01.2012 | 6,627 | 0,916 | 0,229 | 7,359 |
| 7 | 19.01.2012 | 13,785 | 1,011 | 0,208 | 7,153 |
| 7d | 19.01.2012 | 14,092 | 1,056 | 0,228 | 7,787 |
| 8 | 19.01.2012 | 9,811 | 0,914 | 0,396 | 6,799 |
| 9 | 19.01.2012 | 14,146 | 1,169 | 0,442 | 9,631 |
| 10 | 19.01.2012 | 16,810 | 1,087 | 0,311 | 8,801 |
| 10d | 19.01.2012 | 18,132 | 1,164 | 0,322 | 9,657 |
| 11 | 19.01.2012 | 13,368 | 1,226 | 0,690 | 9,394 |
| 11d | 19.01.2012 | 14,454 | 1,327 | 0,777 | 10,779 |
| 12 | 19.01.2012 | 17,873 | 1,453 | 0,952 | 15,026 |
| 13 | 19.01.2012 | 21,326 | 1,688 | 1,078 | 18,360 |
| 13d | 19.01.2012 | 24,026 | 1,943 | 1,276 | 23,338 |
| 14 | 19.01.2012 | 19,398 | 1,600 | 1,077 | 19,551 |
| 15 | 19.01.2012 | 21,872 | 1,640 | 0,976 | 18,077 |
| 16 | 19.01.2012 | 21,278 | 1,825 | 0,713 | 14,700 |
| 17 | 19.01.2012 | 18,713 | 1,401 | 0,669 | 11,554 |
| 17d | 19.01.2012 | 16,379 | 1,235 | 0,581 | 9,441 |
| 18 | 19.01.2012 | 17,237 | 1,333 | 0,365 | 9,384 |
| 19 | 19.01.2012 | 13,188 | 0,987 | 0,443 | 6,283 |
| 19d | 19.01.2012 | 12,385 | 0,926 | 0,412 | 5,744 |
| 20 | 19.01.2012 | 12,435 | 0,966 | 0,253 | 4,943 |
| 21 | 19.01.2012 | 12,488 | 0,851 | 0,102 | 4,405 |
| 22 | 19.01.2012 | 10,970 | 0,741 | 0,170 | 3,504 |
| 22d | 19.01.2012 | 10,386 | 0,686 | 0,151 | 3,236 |
| 23 | 19.01.2012 | 10,559 | 0,633 | 0,077 | 3,281 |
| 24 | 19.01.2012 | 8,545 | 0,581 | 0,171 | 2,474 |
| 24d | 19.01.2012 | 8,172 | 0,542 | 0,161 | 2,311 |
| 25 | 19.01.2012 | 8,857 | 0,654 | 0,073 | 2,418 |
| 26 | 19.01.2012 | 7,668 | 0,627 | 0,320 | 1,518 |
| 27 | 19.01.2012 | 7,126 | 0,669 | 0,074 | 5,762 |
| 27d | 19.01.2012 | 6,821 | 0,651 | 0,076 | 5,501 |
| 28 | 19.01.2012 | 6,075 | 0,590 | 0,032 | 4,293 |
| 28d | 19.01.2012 | 5,922 | 0,550 | 0,021 | 4,055 |
| COM 12-03 | | | | | |
| 05 | 23.03.2012 | 4,691 | 0,606 | 0,035 | 3,585 |
| 07 | 23.03.2012 | 5,395 | 0,585 | 0,015 | 3,629 |
| 07d | 23.03.2012 | 5,354 | 0,607 | 0,046 | 3,628 |
| 09 | 23.03.2012 | 8,401 | 0,690 | 0,000 | 5,278 |
| 11 | 23.03.2012 | 8,255 | 0,592 | 0,031 | 3,523 |
| 13 | 23.03.2012 | 4,967 | 0,340 | 0,107 | 1,830 |
| 13d | 23.03.2012 | 4,954 | 0,350 | 0,100 | 1,792 |
| 15 | 23.03.2012 | 6,599 | 0,390 | 0,000 | 2,036 |
| 16 | 23.03.2012 | 7,755 | 0,432 | 0,000 | 2,289 |
| 17 | 23.03.2012 | 7,432 | 0,402 | 0,000 | 2,373 |

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 19 | 23.03.2012 | 8,197 | 0,484 | 0,000 | 2,547 |
| 19d | 23.03.2012 | 8,203 | 0,478 | 0,000 | 2,530 |
| 21 | 23.03.2012 | 8,609 | 0,519 | 0,000 | 2,690 |
| 22 | 23.03.2012 | 8,315 | 0,499 | 0,000 | 2,619 |
| 23 | 23.03.2012 | 8,451 | 0,477 | 0,000 | 2,254 |
| 25 | 23.03.2012 | 8,746 | 0,505 | 0,000 | 2,429 |
| 25d | 23.03.2012 | 7,688 | 0,455 | 0,000 | 1,957 |
| 27 | 23.03.2012 | 7,732 | 0,435 | 0,000 | 1,989 |
| 28 | 23.03.2012 | 9,542 | 0,505 | 0,000 | 2,277 |
| 29 | 23.03.2012 | 8,590 | 0,490 | 0,000 | 2,102 |
| 29d | 23.03.2012 | 8,690 | 0,493 | 0,000 | 2,163 |
| 31 | 23.03.2012 | 8,541 | 0,517 | 0,019 | 2,032 |
| 32 | 23.03.2012 | 8,750 | 0,491 | 0,000 | 2,445 |
| COM 12-05 | | | | | |
| 01 | 23.03.2012 | 6,074 | 0,718 | 0,025 | 5,512 |
| 02 | 23.03.2012 | 6,099 | 0,694 | 0,014 | 5,226 |
| 02d | 23.03.2012 | 6,088 | 0,712 | 0,029 | 5,173 |
| 03 | 23.03.2012 | 6,450 | 0,701 | 0,000 | 5,007 |
| 04 | 23.03.2012 | 10,427 | 0,747 | 0,042 | 4,654 |
| 04d | 23.03.2012 | 10,582 | 0,748 | 0,043 | 4,635 |
| 05 | 23.03.2012 | 8,850 | 0,679 | 0,051 | 4,199 |
| 05d | 23.03.2012 | 8,827 | 0,673 | 0,048 | 4,136 |
| 06 | 23.03.2012 | 9,027 | 0,687 | 0,057 | 3,902 |
| 07 | 23.03.2012 | 7,601 | 0,506 | 0,077 | 2,607 |
| 07d | 23.03.2012 | 7,535 | 0,507 | 0,075 | 2,649 |
| 07dd | 23.03.2012 | 7,695 | 0,504 | 0,077 | 2,644 |
| 08 | 23.03.2012 | 8,091 | 0,506 | 0,069 | 2,660 |
| 09 | 23.03.2012 | 7,991 | 0,517 | 0,140 | 2,852 |
| 09d | 23.03.2012 | 7,853 | 0,511 | 0,143 | 2,794 |
| 10 | 23.03.2012 | 8,055 | 0,505 | 0,050 | 2,692 |
| 10d | 23.03.2012 | 8,050 | 0,509 | 0,046 | 2,670 |
| 11 | 23.03.2012 | 10,350 | 0,671 | 0,074 | 4,164 |
| 11d | 23.03.2012 | 10,526 | 0,680 | 0,076 | 4,211 |
| 11dd | 23.03.2012 | 10,269 | 0,662 | 0,072 | 4,025 |
| 12 | 23.03.2012 | 9,754 | 0,634 | 0,104 | 3,709 |
| 12d | 23.03.2012 | 9,765 | 0,642 | 0,106 | 3,686 |
| 13 | 23.03.2012 | 9,059 | 0,583 | 0,071 | 3,132 |
| 13d | 23.03.2012 | 9,223 | 0,578 | 0,062 | 3,081 |
| 14 | 23.03.2012 | 10,095 | 0,631 | 0,046 | 3,683 |
| 14d | 23.03.2012 | 9,855 | 0,626 | 0,062 | 3,587 |
| 15 | 23.03.2012 | 10,735 | 0,624 | 0,137 | 4,212 |
| 15d | 23.03.2012 | 10,672 | 0,689 | 0,097 | 4,217 |
| 16 | 23.03.2012 | 8,534 | 0,522 | 0,141 | 2,377 |
| 17 | 23.03.2012 | 9,517 | 0,593 | 0,060 | 3,136 |
| 17d | 23.03.2012 | 9,178 | 0,569 | 0,044 | 2,952 |
| 18 | 23.03.2012 | 9,345 | 0,597 | 0,065 | 3,129 |
| 19 | 23.03.2012 | 9,890 | 0,625 | 0,089 | 3,644 |
| 19d | 23.03.2012 | 9,646 | 0,577 | 0,065 | 3,557 |
| 20 | 23.03.2012 | 9,274 | 0,578 | 0,078 | 2,930 |
| 21 | 23.03.2012 | 9,378 | 0,588 | 0,042 | 2,974 |
| 22 | 23.03.2012 | 8,596 | 0,534 | 0,020 | 2,319 |
| 23 | 23.03.2012 | 9,505 | 0,582 | 0,042 | 2,627 |
| 23d | 23.03.2012 | 8,950 | 0,526 | 0,033 | 2,379 |
| 24 | 23.03.2012 | 7,917 | 0,474 | 0,033 | 1,868 |
| 25 | 23.03.2012 | 9,253 | 0,556 | 0,073 | 2,435 |

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 25d | 23.03.2012 | 9,310 | 0,562 | 0,022 | 2,495 |
| 26 | 23.03.2012 | 8,630 | 0,506 | 0,034 | 2,103 |
| COM 12-08 | | | | | |
| 01 | 19.11.2012 | 7,642 | 0,560 | 0,218 | 1,919 |
| 01d | 19.11.2012 | 7,729 | 0,541 | 0,218 | 1,948 |
| 02 | 19.11.2012 | 7,731 | 0,470 | 0,180 | 1,610 |
| 02d | 19.11.2012 | 7,955 | 0,501 | 0,187 | 1,560 |
| 03 | 19.11.2012 | 7,939 | 0,486 | 0,160 | 1,296 |
| 04 | 19.11.2012 | 7,633 | 0,494 | 0,137 | 0,512 |
| 05 | 19.11.2012 | 6,299 | 0,412 | 0,165 | 2,298 |
| 06 | 19.11.2012 | 4,736 | 0,405 | 0,147 | 2,372 |
| 07 | 19.11.2012 | 5,798 | 0,428 | 0,154 | 0,687 |
| 08 | 19.11.2012 | 5,468 | 0,401 | 0,161 | 0,924 |
| 08d | 19.11.2012 | 5,450 | 0,506 | 0,155 | 1,035 |
| 09 | 19.11.2012 | 4,404 | 0,310 | 0,148 | 0,263 |
| 10 | 19.11.2012 | 5,918 | 0,429 | 0,191 | 0,592 |
| 10d | 19.11.2012 | 5,728 | 0,490 | 0,203 | 0,515 |
| 11 | 19.11.2012 | 2,997 | 0,300 | 0,121 | 0,117 |
| 12 | 19.11.2012 | 0,822 | 0,171 | 0,046 | 0,429 |
| 12d | 19.11.2012 | 0,805 | 0,187 | 0,047 | 0,411 |
| 13 | 19.11.2012 | 1,568 | 0,168 | 0,073 | 0,194 |
| 14 | 19.11.2012 | 0,657 | 0,172 | 0,048 | 0,103 |
| 14d | 19.11.2012 | 0,631 | 0,177 | 0,051 | 0,081 |
| 15 | 19.11.2012 | 2,608 | 0,312 | 0,128 | 0,926 |
| 16 | 19.11.2012 | 2,392 | 0,227 | 0,125 | 0,490 |
| 17 | 19.11.2012 | 0,772 | 0,134 | 0,078 | 0,422 |
| 17d | 19.11.2012 | 0,827 | 0,126 | 0,075 | 0,412 |
| 18 | 19.11.2012 | 1,604 | 0,167 | 0,166 | 0,968 |
| 18d | 19.11.2012 | 0,965 | 0,214 | 0,080 | 0,698 |
| 19 | 19.11.2012 | 0,490 | 0,121 | 0,046 | 0,807 |
| 20 | 19.11.2012 | 0,328 | 0,197 | 0,030 | 0,837 |
| 21 | 19.11.2012 | 0,014 | 0,119 | 0,024 | 0,030 |
| 22 | 19.11.2012 | 0,025 | 0,107 | 0,019 | 0,005 |
| 23 | 19.11.2012 | 0,000 | 0,275 | 0,024 | 0,342 |
| 23d | 19.11.2012 | 0,046 | 0,273 | 0,019 | 0,369 |
| 24 | 19.11.2012 | 0,001 | 0,237 | 0,022 | 0,267 |
| 24d | 19.11.2012 | 0,004 | 0,211 | 0,020 | 0,118 |
| 25 | 19.11.2012 | 0,027 | 0,229 | 0,008 | 0,071 |
| 26 | 19.11.2012 | 0,027 | 0,305 | 0,012 | 0,060 |
| 27 | 19.11.2012 | 0,021 | 0,300 | 0,020 | 0,106 |
| 28 | 19.11.2012 | 0,012 | 0,277 | 0,025 | 0,290 |
| 29 | 19.11.2012 | 0,156 | 0,352 | 0,021 | 0,310 |
| 29d | 19.11.2012 | 0,150 | 0,393 | 0,020 | 0,326 |
| 30 | 19.11.2012 | 0,136 | 0,341 | 0,020 | 0,351 |
| 31 | 19.11.2012 | 0,013 | 0,332 | 0,020 | 0,358 |
| 32 | 19.11.2012 | 0,003 | 0,291 | 0,022 | 0,310 |
| 33 | 19.11.2012 | 0,160 | 0,411 | 0,033 | 0,311 |
| 34 | 19.11.2012 | 0,048 | 0,331 | 0,021 | 0,324 |
| 35 | 19.11.2012 | 0,034 | 0,360 | 0,032 | 0,177 |
| 36 | 19.11.2012 | 0,037 | 0,352 | 0,013 | 0,227 |
| 36d | 19.11.2012 | 0,011 | 0,403 | 0,024 | 0,225 |
| COM 12-11 | | | | | |
| 1 | 19.11.2012 | 0,089 | 0,279 | 0,025 | 0,154 |
| 1d | 19.11.2012 | 0,064 | 0,252 | 0,025 | 0,089 |
| 2 | 19.11.2012 | 0,042 | 0,252 | 0,031 | 0,117 |

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 3 | 19.11.2012 | 0,511 | 0,263 | 0,027 | 0,125 |
| 4 | 19.11.2012 | 0,175 | 0,240 | 0,033 | 0,496 |
| 5 | 19.11.2012 | 0,003 | 0,119 | 0,024 | 0,204 |
| 6 | 19.11.2012 | 0,027 | 0,170 | 0,028 | 0,448 |
| 6d | 19.11.2012 | 0,008 | 0,174 | 0,019 | 0,438 |
| 7 | 19.11.2012 | 0,384 | 0,146 | 0,029 | 0,710 |
| 8 | 19.11.2012 | 0,012 | 0,130 | 0,022 | 0,469 |
| 9 | 19.11.2012 | 0,095 | 0,150 | 0,020 | 0,615 |
| 10 | 19.11.2012 | 0,050 | 0,153 | 0,022 | 0,590 |
| 11 | 19.11.2012 | 0,618 | 0,215 | 0,067 | 1,167 |
| 11d | 19.11.2012 | 0,620 | 0,205 | 0,052 | 1,229 |
| 12 | 19.11.2012 | 0,075 | 0,191 | 0,035 | 1,277 |
| 13 | 19.11.2012 | 0,504 | 0,198 | 0,049 | 0,082 |
| 13 | 19.11.2012 | 0,519 | 0,196 | 0,058 | 0,033 |
| 14 | 19.11.2012 | 0,167 | 0,153 | 0,026 | 0,060 |
| 15 | 19.11.2012 | 0,053 | 0,126 | 0,031 | 0,008 |
| 16 | 19.11.2012 | 0,021 | 0,122 | 0,023 | 0,000 |
| 17 | 19.11.2012 | 0,000 | 0,164 | 0,037 | 0,043 |
| 17d | 19.11.2012 | 0,213 | 0,164 | 0,029 | 0,028 |
| 18 | 19.11.2012 | 1,360 | 0,218 | 0,126 | 0,018 |
| 19 | 19.11.2012 | 0,982 | 0,202 | 0,063 | 0,111 |
| 19d | 19.11.2012 | 0,987 | 0,192 | 0,061 | 0,098 |
| 20 | 19.11.2012 | 0,271 | 0,181 | 0,037 | 0,076 |
| 21 | 19.11.2012 | 1,283 | 0,217 | 0,082 | 0,167 |
| 22 | 19.11.2012 | 0,918 | 0,209 | 0,062 | 0,132 |
| 23 | 19.11.2012 | 4,563 | 0,287 | 0,117 | 0,724 |
| 24 | 19.11.2012 | 7,870 | 0,349 | 0,100 | 0,943 |
| 24d | 19.11.2012 | 5,033 | 0,314 | 0,105 | 0,948 |
| 25 | 19.11.2012 | 4,275 | 0,332 | 0,092 | 0,775 |
| 25d | 19.11.2012 | 4,105 | 0,298 | 0,093 | 0,772 |
| COM 12-14 | | | | | |
| 01 | 19.11.2012 | 2,871 | 0,281 | 0,078 | 1,375 |
| 02 | 19.11.2012 | 4,839 | 0,338 | 0,064 | 0,762 |
| 02d | 19.11.2012 | 2,636 | 0,290 | 0,065 | 0,883 |
| 03 | 19.11.2012 | 2,490 | 0,253 | 0,056 | 0,561 |
| 03d | 19.11.2012 | 2,502 | 0,275 | 0,064 | 0,561 |
| 04 | 19.11.2012 | 0,071 | 0,134 | 0,013 | 0,463 |
| 05 | 19.11.2012 | 0,019 | 0,128 | 0,010 | 0,762 |
| 05d | 19.11.2012 | 0,108 | 0,171 | 0,010 | 0,833 |
| 06 | 19.11.2012 | 0,012 | 0,140 | 0,009 | 0,904 |
| 07 | 19.11.2012 | 0,010 | 0,151 | 0,012 | 0,557 |
| 07d | 19.11.2012 | 0,009 | 0,152 | 0,014 | 0,520 |
| COM 12-17 | | | | | |
| 01 | 19.11.2012 | 0,161 | 0,223 | 0,018 | 0,379 |
| 01d | 19.11.2012 | 0,265 | 0,240 | 0,023 | 0,324 |
| 02 | 19.11.2012 | 0,322 | 0,148 | 0,026 | 0,102 |
| 02d | 19.11.2012 | 0,085 | 0,148 | 0,026 | 0,095 |
| 03 | 19.11.2012 | 0,713 | 0,123 | 0,026 | 0,061 |
| 04 | 19.11.2012 | 0,051 | 0,079 | 0,026 | 0,070 |
| 05 | 19.11.2012 | 0,082 | 0,082 | 0,026 | 0,050 |
| 06 | 19.11.2012 | 0,099 | 0,228 | 0,024 | 0,621 |
| 07 | 19.11.2012 | 4,849 | 0,119 | 0,024 | 0,484 |
| 08 | 19.11.2012 | 0,172 | 0,127 | 0,025 | 0,367 |
| 08d | 19.11.2012 | 0,100 | 0,110 | 0,014 | 0,409 |
| 09 | 19.11.2012 | 0,104 | 0,097 | 0,018 | 0,319 |

| Probenbezeichnung | gemessen | Nitrat [µM/L] | Phosphat [µM/L] | Nitrit [µM/L] | Silikat [µM/L] |
|-------------------|------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 10 | 19.11.2012 | 0,189 | 0,095 | 0,021 | 0,451 |
| 10d | 19.11.2012 | 0,286 | 0,099 | 0,022 | 0,481 |
| 11 | 19.11.2012 | 0,561 | 0,086 | 0,068 | 0,219 |
| 12 | 19.11.2012 | 0,085 | 0,080 | 0,024 | 0,517 |
| 13 | 19.11.2012 | 0,085 | 0,089 | 0,023 | 0,527 |
| 14 | 19.11.2012 | 0,053 | 0,085 | 0,022 | 0,509 |
| 14d | 19.11.2012 | 0,034 | 0,094 | 0,025 | 0,509 |
| 15 | 19.11.2012 | 0,497 | 0,104 | 0,028 | 0,834 |
| 16 | 19.11.2012 | 0,253 | 0,105 | 0,027 | 0,872 |
| 16d | 19.11.2012 | 0,784 | 0,108 | 0,020 | 0,874 |
| 17 | 19.11.2012 | 0,857 | 0,142 | 0,069 | 0,659 |
| 18 | 19.11.2012 | 0,221 | 0,107 | 0,036 | 0,552 |
| 19 | 19.11.2012 | 1,649 | 0,175 | 0,089 | 0,989 |
| 20 | 19.11.2012 | 1,333 | 0,182 | 0,067 | 0,878 |
| 20d | 19.11.2012 | 17,339 | 0,173 | 0,062 | 1,000 |
| 21 | 19.11.2012 | 1,302 | 0,167 | 0,079 | 0,526 |
| 22 | 19.11.2012 | 1,282 | 0,180 | 0,097 | 0,832 |
| 22d | 19.11.2012 | 1,265 | 0,178 | 0,096 | 0,930 |
| 23 | 19.11.2012 | 1,481 | 0,191 | 0,105 | 0,787 |
| 24 | 19.11.2012 | 1,613 | 0,289 | 0,119 | 0,822 |
| 25 | 19.11.2012 | 2,184 | 0,238 | 0,132 | 0,987 |
| 27 | 19.11.2012 | 3,744 | 0,299 | 0,179 | 1,263 |
| 29 | 19.11.2012 | 3,008 | 0,262 | 0,157 | 1,425 |
| 29d | 19.11.2012 | 7,341 | 0,218 | 0,133 | 1,057 |
| 30 | 19.11.2012 | 7,709 | 0,216 | 0,127 | 2,285 |

Tabelle VII: Gemessene und klimatologische (berechnete) SSS- und SST-Daten und klimatologische MLD-Daten der M/V Atlantic Companion Fahrten sortiert nach den drei Gebieten

MW = Mittelwert der entsprechenden Daten für die jeweilige Fahrt

Gebiet I:

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM11-20 | 6 | 08.12.2011 | 3,46 | 2,47 | | 32,97 | 36,2 |
| COM12-03 | 4 | 11.02.2012 | 3,01 | 1,25 | | 32,54 | 106,20 |
| COM12-03 | 6 | 11.02.2012 | 3,14 | 1,78 | | 32,99 | 94,50 |
| COM12-03 | 8 | 11.02.2012 | 1,46 | 2,56 | | 33,48 | 185,90 |
| COM12-03 | 9 | 12.02.2012 | 1,87 | 4,14 | | 34,09 | 240,10 |
| COM12-05 | 1 | 17.03.2012 | 1,48 | -0,83 | 32,590 | 32,51 | 36,30 |
| COM12-05 | 2 | 17.03.2012 | 1,48 | -0,72 | 32,880 | 32,88 | 70,80 |
| COM12-05 | 3 | 18.03.2012 | 1,02 | -0,26 | 32,990 | 33,15 | 88,8 |
| COM12-08 | 23 | 13.05.2012 | 11,62 | 9,25 | 33,103 | 34,08 | 16,70 |
| COM12-08 | 25 | 13.05.2012 | 7,18 | 7,00 | 32,884 | 33,42 | 12,8 |
| COM12-11 | 1 | 29.06.2012 | 11,23 | 5,87 | 32,234 | 32,22 | 10,50 |
| COM12-11 | 3 | 29.06.2012 | 10,72 | 4,98 | 32,466 | 32,60 | 11,00 |
| COM12-11 | 4 | 29.06.2012 | 10,01 | 4,92 | 32,298 | 32,91 | 12,00 |
| COM12-17 | 1 | 11.10.2012 | 14,69 | 10,78 | 32,056 | 31,56 | 21,20 |
| COM12-17 | 3 | 11.10.2012 | 15,76 | 9,47 | 31,984 | 31,92 | 19,30 |
| COM12-17 | 6 | 11.10.2012 | 13,36 | 8,94 | 31,996 | 32,50 | 20,40 |

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM11-17 | MW | 22.10.2011 | | | | | |
| COM11-20 | MW | 08.12.2011 | 3,46 | 2,47 | 32,966 | 32,97 | 36,20 |
| COM12-03 | MW | 11.02.2012 | 2,37 | 2,43 | 33,275 | 33,28 | 156,68 |
| COM12-05 | MW | 17.03.2012 | 1,33 | -0,60 | 32,820 | 32,97 | 65,30 |
| COM12-08 | MW | 13.05.2012 | 9,40 | 8,13 | 32,994 | 33,75 | 14,75 |
| COM12-11 | MW | 29.06.2012 | 10,65 | 5,26 | 32,333 | 32,58 | 11,17 |
| COM12-17 | MW | 11.10.2012 | 14,60 | 9,73 | 32,012 | 32,00 | 20,30 |

Gebiet II:

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM11-17 | 11 | 20.10.2011 | 13,600 | 12,70 | | 35,000 | 55,70 |
| COM11-17 | 13 | 20.10.2011 | 12,650 | 12,44 | | 34,901 | 56,30 |
| COM11-17 | 15 | 20.10.2011 | 12,220 | 12,32 | | 34,799 | 58,70 |
| COM11-17 | 16 | 20.10.2011 | 12,040 | 12,16 | | 34,745 | 59,00 |
| COM11-17 | 17 | 21.10.2011 | 13,160 | 12,75 | | 34,608 | 57,30 |
| COM11-17 | 19 | 21.10.2011 | 16,230 | 13,14 | | 34,361 | 48,00 |
| COM11-17 | 21 | 21.10.2011 | 12,580 | 12,27 | | 34,009 | 35,80 |
| COM11-20 | 8 | 08.12.2011 | 7,561 | 4,72 | | 33,757 | 47,20 |
| COM11-20 | 9 | 09.12.2011 | 7,800 | 5,97 | | 33,949 | 53,50 |
| COM11-20 | 10 | 09.12.2011 | 12,385 | 9,37 | | 34,450 | 74,30 |
| COM11-20 | 12 | 09.12.2011 | 8,519 | 8,91 | | 34,667 | 104,30 |
| COM11-20 | 14 | 09.12.2011 | 9,570 | 8,87 | | 34,746 | 115,90 |
| COM11-20 | 15 | 09.12.2011 | 8,965 | 9,17 | | 34,787 | 117,90 |
| COM11-20 | 16 | 10.12.2011 | 9,247 | 10,31 | | 34,996 | 121,20 |
| COM11-20 | 18 | 10.12.2011 | 10,928 | 10,90 | | 35,171 | 134,60 |
| COM11-20 | 20 | 10.12.2011 | 11,332 | 11,29 | | 35,296 | 165,3 |
| COM12-03 | 10 | 12.02.2012 | 4,765 | 6,87 | | 34,630 | 420,00 |
| COM12-03 | 12 | 12.02.2012 | 9,995 | 9,34 | | 35,015 | 252,90 |
| COM12-03 | 14 | 12.02.2012 | 11,671 | 11,10 | | 35,273 | 203,70 |
| COM12-03 | 15 | 12.02.2012 | 12,479 | 11,24 | | 35,303 | 193,50 |
| COM12-03 | 16 | 13.02.2012 | 12,204 | 10,23 | | 35,197 | 184,90 |
| COM12-03 | 18 | 13.02.2012 | 11,054 | 10,12 | | 35,164 | 207,50 |
| COM12-03 | 20 | 13.02.2012 | 11,643 | 10,50 | | 35,214 | 218,70 |
| COM12-03 | 21 | 13.02.2012 | 12,143 | 10,64 | | 35,252 | 229,70 |
| COM12-05 | 4 | 18.03.2012 | 3,849 | 3,98 | 34,35 | 34,194 | 472,90 |
| COM12-05 | 6 | 18.03.2012 | 7,305 | 8,31 | 34,557 | 34,704 | 110,80 |
| COM12-05 | 8 | 18.03.2012 | 12,527 | 9,89 | 35,550 | 34,931 | 106,60 |
| COM12-05 | 10 | 19.03.2012 | 11,696 | 9,27 | 35,280 | 35,047 | 110,90 |
| COM12-05 | 12 | 19.03.2012 | 9,928 | 9,32 | 34,810 | 35,111 | 117,50 |
| COM12-05 | 14 | 19.03.2012 | 10,845 | 9,60 | 35,230 | 35,174 | 130,90 |
| COM12-05 | 15 | 20.03.2012 | 9,476 | 9,56 | 34,890 | 35,174 | 136,20 |
| COM12-08 | 11 | 11.05.2012 | 12,695 | 12,20 | 35,142 | 35,414 | 51,40 |
| COM12-08 | 13 | 11.05.2012 | 14,092 | 12,31 | 35,503 | 35,420 | 52,10 |
| COM12-08 | 17 | 12.05.2012 | 16,442 | 13,48 | 35,655 | 35,436 | 73,00 |
| COM12-08 | 19 | 12.05.2012 | 16,807 | 13,31 | 35,818 | 35,313 | 63,60 |

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM12-08 | 21 | 12.05.2012 | 16,572 | 12,73 | 35,482 | 35,173 | 50,40 |
| COM12-08 | 22 | 13.05.2012 | 17,145 | 11,82 | 35,48 | 34,933 | 34,50 |
| COM12-11 | 5 | 30.06.2012 | 12,460 | 7,81 | 33,643 | 33,946 | 17,40 |
| COM12-11 | 7 | 30.06.2012 | 15,135 | 10,47 | 35,264 | 34,550 | 29,10 |
| COM12-11 | 9 | 30.06.2012 | 13,674 | 10,87 | 33,962 | 34,787 | 38,50 |
| COM12-11 | 10 | 30.06.2012 | 13,596 | 10,78 | 34,041 | 34,904 | 38,10 |
| COM12-11 | 11 | 01.07.2012 | 13,027 | 10,09 | 34,414 | 34,914 | 26,20 |
| COM12-11 | 13 | 01.07.2012 | 13,159 | 10,51 | 34,398 | 34,948 | 21,10 |
| COM12-17 | 7 | 12.10.2012 | 15,536 | 12,42 | 32,918 | 33,677 | 30,50 |
| COM12-17 | 9 | 12.10.2012 | 17,629 | 14,54 | 33,059 | 34,323 | 39,60 |
| COM12-17 | 11 | 12.10.2012 | 17,815 | 15,41 | 35,968 | 34,863 | 57,50 |
| COM12-17 | 12 | 12.10.2012 | 19,454 | 15,45 | 35,318 | 35,032 | 65,90 |
| COM12-17 | 13 | 13.10.2012 | 17,202 | 14,69 | 35,084 | 35,137 | 62,60 |
| COM12-17 | 17 | 13.10.2012 | 16,270 | 14,71 | 35,201 | 35,300 | 57,90 |
| COM12-17 | 18 | 14.10.2012 | 16,502 | 14,76 | 35,245 | 35,346 | 56,30 |
| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
| COM11-17 | MW | 20.10.2011 | 13,211 | 12,54 | 34,63171 | 34,632 | 52,97 |
| COM11-20 | MW | 09.12.2011 | 9,590 | 8,19 | 34,65 | 34,647 | 103,80 |
| COM12-03 | MW | 13.02.2012 | 10,744 | 10,00 | 35,13 | 35,131 | 238,86 |
| COM12-05 | MW | 18.03.2012 | 9,375 | 8,56 | 34,952 | 34,905 | 169,40 |
| COM12-08 | MW | 11.05.2012 | 15,322 | 12,64 | 35,520 | 35,282 | 54,17 |
| COM12-11 | MW | 01.07.2012 | 13,718 | 10,09 | 34,416 | 34,675 | 28,40 |
| COM12-17 | MW | 13.10.2012 | 17,479 | 14,57 | 34,979 | 34,811 | 52,90 |

Gebiet III:

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM11-17 | 3 | 18.10.2011 | 14,860 | 14,060 | | 35,419 | 51,00 |
| COM11-17 | 4 | 18.10.2011 | 14,270 | 14,125 | | 35,452 | 52,30 |
| COM11-17 | 5 | 19.10.2011 | 14,100 | 14,070 | | 35,405 | 53,20 |
| COM11-17 | 7 | 19.10.2011 | 15,230 | 13,730 | | 35,335 | 53,80 |
| COM11-17 | 9 | 19.10.2011 | 13,850 | 13,370 | | 35,245 | 54,70 |
| COM11-17 | 10 | 19.10.2011 | 13,600 | 13,230 | | 35,199 | 55,00 |
| COM11-20 | 21 | 11.12.2011 | 12,34 | 11,98 | | 35,487 | 174,60 |
| COM11-20 | 23 | 11.12.2011 | 12,44 | 12,00 | | 35,534 | 165,70 |
| COM11-20 | 25 | 11.12.2011 | 12,24 | 11,80 | | 35,516 | 178,90 |
| COM11-20 | 26 | 11.12.2011 | 12,31 | 11,54 | | 35,467 | 251,80 |
| COM12-03 | 22 | 14.02.2012 | 11,472 | 10,67 | | 35,330 | 262,00 |
| COM12-03 | 24 | 14.02.2012 | 11,986 | 10,72 | | 35,366 | 267,70 |
| COM12-03 | 26 | 14.02.2012 | 11,593 | 10,85 | | 35,436 | 278,50 |
| COM12-03 | 27 | 14.02.2012 | 12,381 | 10,88 | | 35,449 | 278,70 |
| COM12-03 | 28 | 15.02.2012 | 11,720 | 10,74 | | 35,487 | 461,20 |
| COM12-03 | 30 | 15.02.2012 | 11,796 | 10,50 | | 35,445 | 634,50 |
| COM12-05 | 16 | 20.03.2012 | 11,838 | 10,15 | 35,460 | 35,279 | 156,70 |
| COM12-05 | 18 | 20.03.2012 | 10,864 | 10,43 | 35,004 | 35,362 | 169,70 |
| COM12-05 | 20 | 20.03.2012 | 11,011 | 10,61 | 35,124 | 35,421 | 181,90 |

| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
|----------|---------|------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|---------|
| COM12-05 | 21 | 20.03.2012 | 10,966 | 10,67 | 35,198 | 35,439 | 188,50 |
| COM12-05 | 22 | 21.03.2012 | 11,943 | 10,77 | 35,515 | 35,465 | 220,60 |
| COM12-05 | 24 | 21.03.2012 | 12,082 | 10,72 | 35,349 | 35,475 | 297,60 |
| COM12-05 | 26 | 21.03.2012 | 11,813 | 10,51 | 35,591 | 35,473 | 661,60 |
| COM12-08 | 3 | 09.05.2012 | 11,615 | 11,860 | 35,527 | 35,490 | 46,90 |
| COM12-08 | 4 | 09.05.2012 | 11,654 | 11,875 | 35,532 | 35,503 | 53,20 |
| COM12-08 | 5 | 10.05.2012 | 12,737 | 11,855 | 35,611 | 35,500 | 60,90 |
| COM12-08 | 7 | 10.05.2012 | 12,708 | 11,650 | 35,480 | 35,447 | 67,80 |
| COM12-08 | 9 | 10.05.2012 | 13,392 | 11,775 | 35,414 | 35,439 | 64,20 |
| COM12-08 | 10 | 10.05.2012 | 12,536 | 11,875 | 35,336 | 35,433 | 59,40 |
| COM12-11 | 16 | 01.07.2012 | 13,936 | 11,280 | 34,476 | 35,051 | 24,20 |
| COM12-11 | 17 | 02.07.2012 | 14,097 | 11,670 | 34,600 | 35,197 | 28,20 |
| COM12-11 | 19 | 02.07.2012 | 13,852 | 11,860 | 34,956 | 35,286 | 26,20 |
| COM12-11 | 21 | 02.07.2012 | 13,986 | 11,880 | 35,059 | 35,352 | 23,90 |
| COM12-11 | 22 | 02.07.2012 | 13,977 | 11,95 | 35,038 | 35,374 | 23,00 |
| COM12-17 | 19 | 14.10.2012 | 15,827 | 14,22 | 35,461 | 35,362 | 53,80 |
| COM12-17 | 21 | 14.10.2012 | 15,409 | 14,5 | 35,284 | 35,445 | 52,40 |
| COM12-17 | 23 | 14.10.2012 | 15,476 | 14,54 | 35,364 | 35,451 | 52,30 |
| COM12-17 | 24 | 14.10.2012 | 15,162 | 14,63 | 35,422 | 35,463 | 52,00 |
| COM12-17 | 25 | 15.10.2012 | 14,705 | 14,63 | 35,425 | 35,496 | 51,60 |
| COM12-17 | 27 | 15.10.2012 | 14,133 | 14,54 | 35,361 | 35,475 | 49,90 |
| Fahrt | Station | Datum | SST [°C] | SST [°C] berechnet | SSS [PSU] | SSS [PSU] berechnet | MLD [m] |
| COM11-17 | MW | 19.10.2011 | 14,318 | 13,764 | 35,342 | 35,342 | 53,33 |
| COM11-20 | MW | 11.12.2011 | 12,330 | 11,829 | 35,501 | 35,501 | 192,75 |
| COM12-03 | MW | 14.02.2012 | 11,825 | 10,724 | 35,419 | 35,419 | 363,77 |
| COM12-05 | MW | 20.03.2012 | 11,502 | 10,551 | 35,320 | 35,416 | 268,09 |
| COM12-08 | MW | 10.05.2012 | 12,440 | 11,815 | 35,483 | 35,469 | 58,73 |
| COM12-11 | MW | 02.07.2012 | 13,970 | 11,728 | 34,826 | 35,252 | 25,10 |
| COM12-17 | MW | 14.10.2012 | 15,119 | 14,510 | 35,386 | 35,449 | 52,00 |